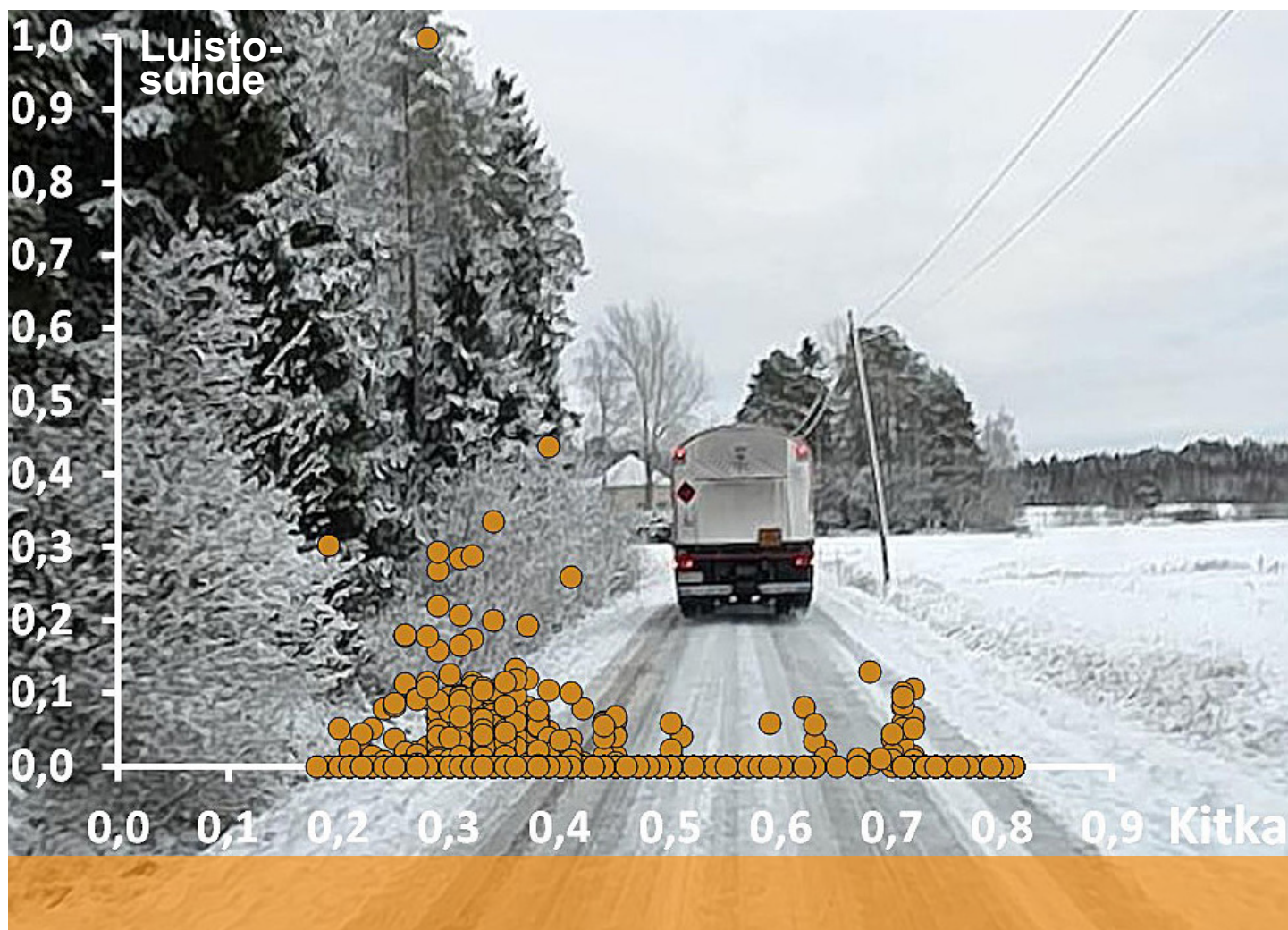


Mikko Malmivuo

## Ajoneuvon tietoväylää hyödyntävän liukkaudentunnistuksen testaus





Mikko Malmivuo

# Ajoneuvon tietoväylää hyödyntävän liukkaudentunnistuksen testaus

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2016

Liikennevirasto  
Helsinki 2016

*Kannen kuva: Juha-Matti Vainio ja Mikko Malmivuo*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-326-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Mikko Malmivuo: Ajoneuvon tietoväylää hyödyntävän liukkaudentunnistuksen testaus.** Liikennevirasto, kunnossapito-osasto. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2016. 42 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-326-2.

**Avainsanat:** kitka, liukkaus, menetelmät, talvikunnossapito, testaus

## Tiivistelmä

VTT on kehittänyt ns. Grip-menetelmänä tunnetun järjestelmän, jossa ajoneuvon omasta tietoväylästä kerättävän tiedon perusteella voidaan arvioida tienpinnan kitkaa. Grip tarkastelee vapaasti pyörivien ja vetävien renkaiden pyörimisnopeuseroa, sekä ottaa laskennassa huomioon kulloinkin käytetyn moottoritehon. Tuloksena saatava luistosuhdeluku on teorian mukaan sitä suurempi, mitä liukkaampi on tien pinta. Tässä tutkimuksessa on verrattu säiliöautoihin ja busseihin asennetun Grip-menetelmän tuottamia tuloksia referenssiajoneuvon kitkamittaustuloksiin.

Mittaukset suoritettiin ajamalla kitkamittarein varustetulla henkilöautolla tutkittavien Grip-ajoneuvojen perässä. Referenssimittauksia tekevä henkilöauto oli varustettu kolmella jarrutuskitkamittarilla sekä yhdellä optisella kitkamittarilla RCM411. Keskeisin referenssimittari oli jatkuvatoiminen RCM411.

Talvella 2015-2016 suoritettiin säiliöautoilla 4 testiä ja busseilla 3 testiä. Testien aikaisesta säiliöautojen Grip-datasta saatiin talteen 87 %, mutta bussien datasta vain 38 %. Busseissa käytettiin erilaista ajoneuvoyksikköä kuin säiliöautoissa, eikä sen luotettavuus vastannut odotuksia.

Gripin tuottaman luistosuhteen ja optisen kitkamittarin RCM411 mittaaman kitkan välinen korrelaatio vaikutti kohtuullisen hyvältä. Grip ei yltänyt RCM411:n tarkkuuteen, mutta se kuitenkin tuotti lähes poikkeuksetta korkeita luistosuhteita vain matalammilla optisen mittarin kitkatasoilla. Keleissä, jotka sisälsivät paljon irtonaista ainesta (lumi, sohjo), Grip vaikutti tuottavan odotuksia matalampia luistosuhdehavaintoja. Grip ei myöskään aina tuottanut liukkailla kiinteämmillä keleillä lainkaan luistosuhdehavaintoja. Tämä kuitenkin liittyy itse menetelmään, sillä Grip pystyy tuottamaan havaintoja vain silloin, kun ajoneuvossa on ns. veto päällä. Koska Grip on ennen kaikkea järjestelmä, jossa useamman ajoneuvon tuottamat havainnot validoivat aiempia havaintoja, järjestelmää voidaan tehtyjen testien perusteella pitää kohtuullisen lupaavana.

Tehtyjen testien perusteella luistosuhdehavaintojen määrä lähtee kasvuun, kun optisen mittarin kitka saavuttaa arvon 0,45 tai sen alle. Tämä vastaa Liikenneviraston kitkaasteikolla kitkaa 0,35, mikä on 5 sadasosaa yli korkeimman hoitoluokan (Is, mm. moottoritiet) kitkavaatimuksen. Menetelmä saattaa siten soveltua karkeaan toimenpideaajan alkamishetken (liukkauden alkamishetki) arviointiin.

Menetelmän tarkkuus ei yksinään riitä talvihoidon laadun vaatimuksenmukaisuuden tarkkaan arviointiin, mutta se saattaa riittää talvihoidon palvelutason arviointiin. Tutkimuksessa tehtyjen laskelmien mukaan menetelmä olisi tähän mahdollisesti kustannustehokkaampi kuin Liikenneviraston vuonna 2011 lopettama järjestelmä, jossa palkatut konsultit ajoivat kitkamittarein varustetulla ajoneuvolla ennalta sovittuja reittejä säännöllisen ennalta sovitun aikataulun mukaisesti. Tutkimuksen perusteella suositellaankin, että Grip-menetelmän puitteissa käynnistettäisiin nyt pilotti tai pilotteja, jossa otettaisiin mukaan Grip-tiedon loppukäyttäjät (urakoitsijat, talvihoidon valvonta, valitut tienkäyttäjät) ja kerätäisiin näiden loppukäyttäjien näkemyksiä menetelmästä.

**Mikko Malmivuo: Testning av ett system för identifiering av halka, som använder sig av information från fordonets databuss.** Trafikverket, drift och underhåll. Helsingfors 2016. Trafikverkets undersökningar och utredningar 49/2016. 42 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-326-2.

## Sammanfattning

VTT har utvecklat den så kallade Grip-metoden, med vilken man kan uppskatta vägytans friktion utifrån data som samlas in från fordonets egna databuss. Grip-metoden används för att undersöka skillnaden mellan frirullande och dragande hjuls rotationshastighet, och vid uträkningen beaktas motoreffekten som använts i respektive fall. Slipvärdet som uppstår är teoretiskt sett högre ju halare vägytan är. I den här undersökningen har man jämfört resultaten som uppnåtts med ett system som installerats i tankbilar och bussar enligt Grip-metoden med ett referensfordons friktionsmättningsresultat.

Mätningarna gjordes så att en personbil utrustad med friktionsmätare körde efter fordonen i vilka Grip-systemet installerats. Personbilen som utförde referensmätningarna var utrustad med tre bromsfriktionsmätare samt med den optiska friktionsmätaren RCM411. Denna kontinuerliga mätare var den viktigaste referensmätaren.

Vintern 2015-2016 utfördes fyra test med tankbilar och tre test med bussar. Av de Grip-data som erhöles under testerna registrerades 87 % av tankbilarnas data, men bara 38 % av bussarnas data. Grip-tekniken som användes i bussarna var av en annan typ än den i tankbilarna och dess pålitlighet motsvarade inte förväntningarna.

Korrelationen mellan slipvärdet som erhöles med Grip-metoden och friktionen som uppmättes med den optiska friktionsmätaren RCM411 var relativt tillfredsställande. Grip-metoden nådde inte upp till RCM411:s noggrannhet, men dess resultat visade ändå nästan undantagslöst höga slipvärden endast då den optiska mätaren registrerade lägre friktionsnivåer. Vid väglag med mycket löst underlag (snö, slask), verkade Grip-systemet uppvisa lägre slipvärden än väntat. Ganska ofta visade Grip-metoden inga slipvärden alls vid halt, fast väglag. Detta beror på själva metoden, eftersom Grip bara kan visa resultat då fordonet drar. Eftersom Grip-metoden framför allt är ett system, där observationer från flera fordon validerar tidigare resultat, kan systemet på basis av de utförda testen anses vara rätt så lovande.

På basis av de utförda testen ökar antalet registrerade slipvärden då den optiska mätaren visar en friktion på 0,45 eller lägre. På Trafikverkets friktionsskala motsvarar detta en friktion på 0,35, vilket överstiger friktionskravet i den högsta underhållsklassen (ls, t.ex. motorvägar) med 5 hundra delar. Metoden skulle därför kunna lämpa sig för en grov uppskattning av tidpunkten då åtgärder ska vidtas (då det förkommer halka).

Metodens noggrannhet är inte i sig tillräcklig för att man noggrant ska kunna utvärdera om kvaliteten på vinterunderhållet uppfyller kraven, men den kunde vara tillräckligt noggrann för att fastställa vinterunderhållets servicenivå. Enligt beräkningarna i undersökningen skulle metoden i det här fallet eventuellt vara mer kostnadseffektiv än det system som Trafikverket lade ner 2011. I det systemet anställdes konsulter för att köra fordon utrustade med friktionsmätare längs i förväg överenskomna rutter enligt en i förväg överenskommen tidtabell. På basis av undersökningen rekommenderas också att det inom ramen för Grip-metoden nu skulle startas en eller flera pilotstudier, som inkluderar slutanvändarna av Grip-data (entreprenörer, övervakning av vinterunderhåll, utvalda trafikanter) och där man skulle samla in dessa slutanvändares åsikter om metoden.

**Mikko Malmivuo: Testing a slipperiness detection system which utilizes vehicle data bus information.** Finnish Transport Agency, Maintenance Department. Helsinki 2016. Research reports of the Finnish Transport Agency 49/2016. 42 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-326-2.

## Summary

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd has developed a system called the "Grip", which, based on information collected from the vehicle data bus, is able to estimate road surface friction. The Grip system examines the difference between the rotational speeds of free-rolling wheels and driving wheels, and, when making calculations, takes the engine power into account. The result of this provides the slip ratio, which, in theory, increases in correlation to the degree of road surface slipperiness. This study compares the results obtained with the Grip method, using devices installed in tank trucks and buses, with friction measurement results obtained from a reference vehicle.

The measurements were performed by driving a private car equipped with friction meters behind the vehicles in which the Grip system was installed. The private car performing the reference measurements was equipped with three braking friction meters and one optical friction meter, RCM411. This continuous optical friction meter was the main reference meter.

In winter 2015-2016, four tests were performed using tank trucks and three tests using buses. Of the Grip data obtained during the tests, 87 % was recorded from the tank trucks, and only 38 % from the buses. A different type of vehicle unit was used in the buses than in the tank trucks, and the bus unit was not as reliable as expected.

The correlation between the slip ratio, determined using the Grip method, and the friction, measured with the optical friction meter, RCM411, was quite satisfying. The Grip method's results were not as accurate as those of the RCM411 meter. However, the slip ratios calculated using the Grip method were almost invariably high when only lower friction levels measured with the optical meter. In road conditions with a lot of loose substances (snow, slush), the slip ratios calculated using the Grip method were lower than expected. Moreover, in slippery, more compact road conditions, the Grip system at times did not produce any slip ratio results at all. The reason for this can be found in the method itself, since the Grip system is only able to make observations when the vehicle is in driving mode. Since the primary function of the Grip system is to validate previous observations made by several vehicles, it can, based on the executed tests, be considered relatively promising.

Based on the executed tests, there is an increased quantity of slip ratio observations when the friction of the optical meter reaches the value of 0.45 or less. This corresponds to the friction value of 0.35 on the Finnish Transport Agency's friction scale, which exceeds the friction requirement for the highest maintenance class (I<sub>s</sub>, which includes motorways) by 5 hundredths. Therefore, the Grip method could be implemented for roughly estimating the time when maintenance actions should be started (based on road slipperiness).

The accuracy of this method alone is not sufficient for assessing if the quality of the winter maintenance meets the requirements, but it might be sufficient enough for determining the service level of winter maintenance. According to the calculations made in this study, the Grip method might prove to be more cost-effective for this purpose than the system abandoned by the Finnish Transport Agency in 2011. In that system, consultants were hired to drive a vehicle equipped with friction meters along pre-determined, pre-scheduled routes. Based on this study, it is recommended that one or several pilot studies on the Grip method should be initiated. The pilot studies should include the end users of the Grip data (entrepreneurs, winter maintenance control, selected road users) and collect information about the end users' views on the method.

## Esipuhe

Maanteiden ja katujen liukkaudentorjunnan onnistumista voidaan luotettavasti seurata vain tätä tarkoitusta varten kehitetyillä kitkamittareilla. Kitkamittauksen haasteena ovat kuitenkin kustannukset: kun tien päällä ollaan vain kitkamittauksen vuoksi, mittauksesta syntyy merkittäviä henkilö-, ajoneuvo- ja laitekustannuksia. VTT on kehittänyt liukkaudentunnistusmenetelmän, jossa ajoneuvon omista tietoväylistä kerätään tietoa vapaasti pyörivien ja vetävien renkaiden pyörimisnopeudesta sekä käytetystä moottoritehosta. Kun matalalla moottoriteholla vetävien renkaiden pyörimisnopeus on merkittävästi suurempi kuin vapaasti pyörivien, on tiellä suurella todennäköisyydellä liukasta. Menetelmän etuina ovat alhaiset yksikkökustannukset ja automaattisuus. Koska kuljettajalta ei edellytetä minkäänlaisia toimenpiteitä mittauksen suhteen, myös muuttuvat kustannukset ovat pienet.

Tässä tutkimuksessa on seurattu säiliö- ja linja-autoihin asennetun VTT:n Grip-järjestelmän kykyä liukkaudentunnistukseen maanteilla ja kaupunkiolosuhteissa. Tutkimus on rahoitettu yhteistyössä Helsingin kaupungin rakennusviraston, Liikenneviraston ja Trafín toimesta. Helsingin Kaupungin Rakennusviraston osalta yhteyshenkilönä on toiminut Pekka Isoniemi, Liikenneviraston osalta Tuovi Päiviö ja Otto Kärki sekä Trafín osalta Eetu Pilli-Sihvola. VTT:n yhteyshenkilöinä ovat toimineet Heikki Mantsinen, Aki Aapaoja, Raine Hautala ja Paula Silvonen. Tutkimuksen on tehnyt Mikko Malmivuo Innomikko Oy:stä. Tutkimuksen mittauksista on vastannut Juha-Matti Vainio West Coast Roadmasters Oy:stä.

Helsingissä marraskuussa 2016

Liikennevirasto  
Kunnossapito-osasto



# Sisällysluettelo

1	TAUSTA JA TAVOITE.....	8
1.1	Tausta.....	8
1.2	Tavoitteet.....	10
2	GRIP-MENETELMÄ.....	11
3	VERTAILUMITTAUKSET .....	13
3.1	Vertailumittauksissa käytetyt kitkamittarit.....	13
3.2	Vertailukitkamittarien kitkaskaala .....	14
3.3	Muut seurantamittausten laitteet ja menetelmät.....	15
3.4	Vertailumittausten suoritus.....	16
4	TULOKSET .....	19
4.1	Luistosuhdehavaintojen vertaaminen optiseen kitkamittaukseen, jarrutuskitkamittauksiin ja keliluokitteluun .....	19
4.2	Yksittäisten testipäivien tarkastelu .....	23
4.2.1	Säiliöauto 1, 23.11.2015.....	23
4.2.2	Säiliöauto 1:n seuranta 4.1.2016 .....	25
4.2.3	Säiliöauto 2:n seuranta 12.1.2016 .....	26
4.2.4	Bussien 1 ja 2 seuranta 24.1.2016 .....	26
4.2.5	Bussien 3 ja 4 seuranta 3.2.2016.....	27
4.2.6	Säiliöauto 3:n seuranta 9.2.2016.....	29
4.3	Grip kesä- ja talvikelissä .....	30
4.3.1	Säiliöauto 2 talvi- ja kesäkelissä .....	30
4.3.2	Bussi 1 talvi- ja kesäkelissä .....	30
4.3.3	Bussi 2 talvi- ja kesäkelissä.....	31
4.3.4	Säiliöauto 3 talvi- ja kesäkelissä.....	32
5	GRIP-JÄRJESTELMÄN TOIMIVUUDEN ARVIOINTIA JA VERTAILUA FCD- JÄRJESTELMÄÄN .....	33
5.1	FCD:n tarkkuus sekä asetetut tarkkuusvaatimukset .....	33
5.2	Gripin tarkkuus suhteessa FCD:hen ja vaatimuksiin .....	34
5.3	Liikkuvan kelinseurantajärjestelmän tarkkuudesta .....	35
6	KUINKA MONEEN AJONEUVOON GRIP-JÄRJESTELMÄ TULISI ASENTAA?...	36
7	YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....	37
7.1	Tutkimuksen yhteenveto.....	37
7.2	Grip-menetelmä käyttö Helsingin kaupungin alueen talvihoidossa.....	38
7.3	Grip-järjestelmän käyttö talvihoidon palvelutason seurannassa.....	40
7.4	Johtopäätökset ja suositukset .....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET	
Liite 1	Kuvia tehdyistä seurannoista	
Liite 2	Pitkä englanninkielinen tiivistelmä	

# 1 Tausta ja tavoite

## 1.1 Tausta

Suomessa maanteiden ja katujen talvihoidossa noudatetaan periaatetta, jonka mukaan tien pinnan ei tarvitse talviaikana olla paljas, kunhan ajoradalla saavutetaan riittävä pito turvalliseen liikkumiseen. Riittävä pito saavutetaan liukkaudentorjuntatoimenpitein. Maanteillä liukkaudentorjunnan onnistumista seurataan ja valvotaan kitkamittareilla varustetuilla ajoneuvoilla.

Suomessa on käytössä kahdenlaisia kitkamittareita: jarrutuskitkamittareita ja optisia kitkamittareita. Maanteillä talvihoidon laatuvaatimuksia seurataan ns. jarrutuskitkamittareilla. Jarrutuskitkamittareita käytettäessä ajoneuvoa jarrutetaan voimakkaasti noin yhden sekunnin ajan. Kitkamittari laskee ajoneuvon hidastuvuuden jarrutuksen aikana ja pääättelee sen perusteella tienpinnan kitkan. Jarrutuskitkamittarit ovat suhteellisen tarkkoja, mutta ongelmana on, ettei niitä voi käyttää runsaasti liikennöidyillä teillä, jyrkissä kaarteissa tai mäissä.

Optiset kitkamittarit ovat ajoneuvon vetokoukkuun tai kattotelineelle asennettavia optisia mittalaitteita, jotka pääättelevät liukkauden tien pinnasta heijastuvaa valoa analysoimalla. Optisten kitkamittarien etuna on se, että niitä voidaan käyttää millaisilla teillä tahansa, mutta toisaalta ne ovat hieman epätarkempia kuin jarrutuskitkamittarit. Optisten mittarien etuna on myös se, ettei niiden käyttö edellytä kuljettajalta aktiivisia toimenpiteitä. Täysin autonomisesta laitteesta ei kuitenkaan voida puhua. Mittarin puhtaus ja toiminta on hyvä tarkastaa tietyin väliajoin. Optisten kitkamittarien hankintakustannus on jarrutuskitkamittareita suurempi (optinen kitkamittari 6 000–10 000 €, jarrutuskitkamittari 600–1000 €).

Sekä Suomessa että maailmalla on viime vuosina mielenkiinto kohdistunut enenevässä määrin ajoneuvojen tietoväylien hyödyntämiseen liukkaudentunnistuksessa. Esimerkiksi erilaisten automaattisten kuljettajaa tukevien järjestelmien lisääntyminen ajoneuvoissa edellyttää, että vallitsevat olosuhteet tunnistetaan entistä tarkemmin ja nopeammin oikeiden ohjauspäätösten tekemiseksi. Tulevaisuudessa tieliikenteen automaation lisääntyessä tarve tällaiselle reaaliaikaiselle liukkaudentunnistukselle vain kasvaa.

Ajoneuvon tietoväyliä hyödyntävän liukkaudentunnistuksen etuina ovat mm:

- Edulliset laitekustannukset. Tarvitaan vain laite, joka lukee ajoneuvon tietoväylää ja lähettää tiedon eteenpäin aika- ja paikkaleiman kanssa. Joissain uusimmissa ajoneuvoissa on jo valmiina niin kehittyneet tiedonsiirto-ominaisuudet, että tietoväylien hyödyntämiseen voidaan ryhtyä ilman minkäänlaisia fyysisiä asennuksia.
- Vähäiset huoltokustannukset. Järjestelmässä ei ole kuluvia tai likaantuvia osia.
- Matalat henkilökustannukset. Mittauksen tekemisestä eli ajoneuvon kuljettamisesta ei tarvitse maksaa erikseen. Ainoat henkilökustannukset liittyvät järjestelmän hallinnointiin.

Edulliset laite-, huolto- ja henkilökustannukset johtavat siihen, että järjestelmän piiriin voidaan liittää lukuisia ajoneuvoja edullisesti. Tämä taas parantaa järjestelmän maantieteellistä kattavuutta.

Tietoväylien hyödyntämiseen perustuvaan liukkaudentunnistusjärjestelmään liittyy myös haasteita. Ajoneuvoja, renkaita ja ajokäyttäytymistä on järjestelmässä vaikea vaikoida ja näillä kaikilla voi olla vaikutusta liukkaudentunnistukseen. Toisaalta tällaisen järjestelmän luotettavuus perustuu osin suureen havainnon tekijöiden joukkoon: yhdeltä ajoneuvolta tulleet liukkaushavainnot varmistuvat, kun samalta alueelta on tullut vastaavia havaintoja useammalta ajoneuvolta.

VTT on tutkinut viime vuosina runsaasti ajoneuvon tietoväylien hyödyntämistä liukkaudentunnistuksessa. Tutkimuksen tuloksena on syntynyt Grip-menetelmänä tunnettu järjestelmä, jossa ajoneuvon omista tietoväylistä kerätään tietoa vapaasti pyörivien ja vetävien renkaiden pyörimisnopeudesta sekä käytetystä moottoritehosta. Kun matalalla moottoriteholla vetävien renkaiden pyörimisnopeus on merkittävästi suurempi kuin vapaasti pyörivien, on tiellä suurella todennäköisyydellä liukasta. Järjestelmä asennettiin testauksen alkuvaiheessa noin 20: een Nesteen säiliöautoon. Tämän tutkimuksen aikana järjestelmä asennettiin myös noin 20: een Helsingin alueen busiin.

Uuden menetelmän hyödyntäminen kiinnostaa Helsingin kaupungin rakennusvirastoa, sillä HKR on siirtymässä uuteen urakanhallintajärjestelmään, ns. LASSO-järjestelmään. Tässä yhteydessä talvihoidon laatua ja onnistumista on tarkoitus jatkossa seurata kitkamittauksin. Liukkauden alkamishetki on erityisen merkityksellinen, koska se määrittelee ns. toimenpideajan alkamisen. Kitkavaatimukset tulevat myös jatkossa olemaan osa HKR:n talvihoidon laatuvaatimuksia. Vilkkaasti liikennöidyt kadut asettavat erityisiä haasteita kitkamittaukselle, sillä näissä olosuhteissa esimerkiksi jarrutuskitkamittarien käyttö ei tule kyseeseen.

Liikennevirasto on kiinnostunut erityisesti menetelmästä, joka soveltuisi talviliikenteen palvelutason seurantaan. Talviliikenteen palvelutasomittauksilla pyritään saamaan yleiskuvaa teiden liikennöitävyydestä talviaikaan eri puolilla Suomea. Tässä tutkimuksessa testattava liukkaudentunnistusjärjestelmä voisi toimiessaan olla myös esim. ohjaamassa muuttuvia nopeusrajoituksia ja varoitusmerkkejä. Lisäksi järjestelmän havaintojen perusteella voitaisiin edelleen kehittää talvihoitoa oikea-aikaisemmaksi ja vähemmän ympäristöä kuormittavaksi.

Trafi haluaa tukea liikenneturvallisuutta ja liikenteen ympäristöystävällisyyttä parantavan olosuhteita havainnoivan ajoneuvotekniikan kehitystä tutkimalla sen toimivuutta ja tarkkuutta eri sovelluksissa. Automaattiajamisen yleistymisen kannalta on tärkeää, että automaattiset toiminnot ovat käytettävissä myös Suomen vaihtelevissa olosuhteissa. Tämän mahdollistamiseksi ajoneuvon tulee saada reaaliaikaista ja riittävän tarkkaa tietoa vallitsevista olosuhteista sen välittömässä ympäristössä.

## 1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ajoneuvon omiin tietolähteisiin perustuvan liukaudentunnistuksen tarkkuutta ja soveltuvuutta talvikunnossapidon laadunseurantaan katu- ja maantieverkolla. Tarkkuutta tutkittiin seuraavilla tavoilla:

- Vertaamalla Grip-mittausten tuloksia vertailukitkamittauksiin. Vertailumittaukset tehtiin ajamalla Grip-ajoneuvon perässä kitkamittarein varustetulla ajoneuvolla.
- Vertaamalla samalla tiellä samoihin aikoihin liikkuneiden Grip-ajoneuvojen mittaustuloksia toisiinsa.
- Lisäksi luotiin suosituksia siitä, miten Grip-mittausten tuloksia voitaisiin hyödyntää urakoiden laadunvalvonnassa ja talvihoidon palvelutason seurannassa.

## 2 Grip-menetelmä

Grip-liukkaudentunnistus perustuu VTT:n kehittämään ja patentoimaan menetelmään, jossa reaaliaikaiset liukkaustason muutokset tunnistetaan auton omien anturien mitaamien tietojen pohjalta. Menetelmää on laajimmin kuvattu M. Varangan raportissa vuonna 2008 (Varanka 2008). Menetelmä arvioi vetoakselin ja vapaasti pyörivien akselien nopeuseroja erilaisissa ajotilanteissa ja päättelee pistemäisten havaintojen korkeimpien liukkausarvojen perusteella tieosuuden liukkaustason. Autoista kerätyt havainnot ja niiden koordinaatit välitetään langattomasti taustajärjestelmään, joka ylläpitää reaaliaikaista liukkauskartastoa (kuva 1). Liukkaustiedosta voidaan myös muodostaa varoituksia, joita välitetään järjestelmään liitetuille autoille. Näin kuljettajat voivat etukäteen varautua liukkaisiin tieosuuksiin.



Kuva 1. VTT:n kehittämä Grip-liukkaudentunnistus

Alkuperäinen menetelmä kehitettiin 2004–2005 ja sitä testattiin Transpoint Oy:n kuorma-autoilla 2006–2008. HDENIQ-projektissa vuosina 2009–2012 kehitettiin Grip-taustajärjestelmä liukkaustiedon käsittelyyn ja liukkausvaroitusten muodostamiseen. Samalla liukkaudentunnistinta virtaviivaistettiin ja optimoitiin kaupallistamista silmällä pitäen. 2013–2015 jatkettiin testejä Neste Markkinointi Oy:n kalustolla. Talvella 2015–2016 menetelmää testattiin kaupunkibusseissa. Näiden testien ja muilla kitkamittareilla suoritettujen vertailumittausten tulosten avulla kehitetään menetelmää, jolla erilaisten autojen tulokset saadaan entistä paremmin yhteismitallisiksi.

Järjestelmään voi liittyä erilaisilla ajoneuvopäätelaitteilla, joissa on riittävät ominaisuudet liukkaudentunnistuskannan tekemiseen, liittymä ajoneuvon tietoväylään, paikannustieto ja verkkoyhteys.

VTT on solminut EEE Innovations Oy:n kanssa optiosopimuksen Grip-menetelmän kaupallistamisesta. Karkea arvio menetelmän kustannuksista on seuraava:

- Ajoneuvo-PC + CAN- väylän lukija 250 €
- Laitteiston asennus 150 € keskimäärin
- Liukkaudentunnistuksen palvelumaksu 20€/kk
- Datayhteysmaksu operaattorista riippuen

Liukkaudentunnistuksen palvelumaksu on luonteeltaan ohjelmistolisenssimaksu. Se sisältäisi todennäköisesti pääsyn reaaliaikaiseen (ja historialliseen) liukkaustietoon, mahdollisuuden vastaanottaa liukkausvaroituksia, laitteiden toiminnan valvontaa ja laitteiden ohjelmistopäivitykset.

Mikäli kaikki myytäisiin palveluna, hinta olisi noin 35 €/kk + datayhteysmaksu. Jos datayhteysmaksuksi arvioidaan 15 €/kk ja talvikauden pituudeksi 7 kuukautta, maksaisi 1000 ajoneuvon joukko noin 350 000 € talvikaudessa. On kuitenkin syytä huomata, että nämä hinnat ovat alustavia arvioita.

## 3 Vertailumittaukset

### 3.1 Vertailumittauksissa käytetyt kitkamittarit

Vertailumittaukset tehtiin ajamalla kitkamittarein varustetulla ajoneuvolla Grip-menetelmällä varustetun ajoneuvon perässä. Seuranta suoritettiin pääosin näköetäisyydellä edellä ajavaan, jotta ajolinjat kyettäisiin pitämään mahdollisimman samoina.

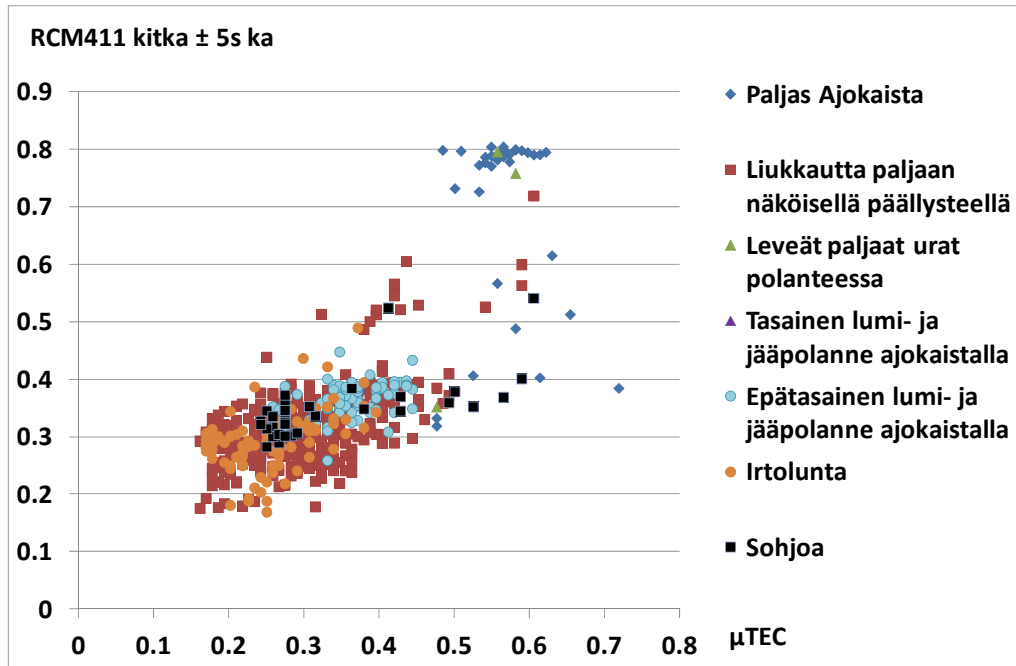
Vertailukitkamittareina käytettiin kolmea erilaista jarrutuskitkamittaria ja yhtä optista kitkamittaria. Aiemmassa tutkimuksessa on havaittu, että jarrutuskitkamittauksen tulos korreloi parhaiten tutkittavan kohteen kanssa silloin, kun useampi jarrutuskitkamittari näyttää samankaltaista tulosta (Malmivuo 2013). Lisäksi useamman mittarin käyttö takaa, ettei yhden mittarin rikkoutuminen pilaa kokonaan mittauksia. Käytetyillä jarrutuskitkamittareilla on erilaisia etuja:

- $\mu$ TEC on matkapuhelimessa toimiva kitkamittausohjelmisto, joka käyttää matkapuhelimen kiihtyvyyssanturia hyväksi kitkamittauksessa. Mittari liittää havaintoon myös paikkaleiman, jolloin kaikki jarrutuskitkamittarihavainnot on helpompi yhdistää tiettyyn paikkaan. Lisäksi  $\mu$ TEC-havainto yhdistyy automaattisesti saman valmistajan optisen kitkamittarin mittausaineistoon
- Gripman on myös kiihtyvyyssanturiin perustuva jarrutuskitkamittari. Se on varsin luotettavana pidetty mittari.
- Eltrip on ns. perinteinen jarrutuskitkamittari, joka mittaa jarrutuksen aikaisen hidastuvuuden renkaan pyörimisnopeuden perusteella (laite yhdistetään nopeusmittarin anturiin). Mittaria pidetään varsin toimintavarmana.

Lisäksi vertailumittarina käytettiin optista kitkamittaria RCM411. Optinen kitkamittari pääättelee liukkauden mittaamalla tien pinnasta heijastuvaa valoa. Mittari ei yllä jarrutuskitkamittarien tarkkuuteen, mutta

- se tuottaa jatkuvaa kitkadataa (jarrutuskitkamittarit pistemäistä)
- se kykenee toimimaan ongelmitta ruuhkissa, mäissä ja kaarteissa (mihin jarrutuskitkamittarit eivät pysty)

Optisen kitkamittarin on todettu tunnistavan kuivan ja pitävän asfaltin erinomaisella tarkkuudella. On siis erittäin harvinaista, että optinen kitkamittari näyttäisi yli 0,7:n kitkaa olosuhteissa, jotka osoittautuisivat liukkaiksi (kuva 2). Sen sijaan tarkan kitkalukeman määrittäminen alhaisemmillä kitkatasoilla saattaa olla hieman haasteellisempaa. Tämän vuoksi optisen kitkamittarin ja jarrutuskitkamittarin yhteiskäyttö antaa usein hyvän tuloksen. Optinen mittari kertoo, milloin tienpinnan olosuhteissa tapahtuu muutoksia ja jarrutuskitkamittari taas kertoo, millä kitkatasolla liikutaan.



Kuva 2. Optisen kitkamittarin (RCM411) ja jarrutuskitkamittarin ( $\mu_{TEC}$ ) vertailua eri keliolosuhteissa. Keliolosuhteet mitaajan aistihavaintojen mukaan (Malmivuo 2013).

## 3.2 Vertailukitkamittarien kitkaskaala

Tässä tutkimuksessa jarrutuskitkamittareissa on käytetty ns. Liikenneviraston kitkaskaalaa. Optinen kitkamittari taas käyttää ns. fysikaalista kitkaskaalaa. Skaalojen eroa on selitetty kuvassa 3.

### LIIKENNEVIRASTON KITKASKAALA

- Suppeampi skaala
- Kitkamittari skaalataan näyttämään arvoa 0,29 lumipolanteella -5°C lämpötilassa
- Skaalaus päätettiin 1980-luvulla, jolloin referenssilaitteena pidettiin Ilmailulaitoksen BV-11 kitkamittaria

### FYSIKAALINEN KITKASKAALA

- Laajempi skaala
- Liikenneviraston skaalan arvoa 0,29 vastaa arvo 0,37
- Skaalaus perustuu kitkan fysikaaliseen kaavaan

$$\frac{1}{2} m (v_0)^2 - \frac{1}{2} m (v_i)^2 = \mu m g L$$

missä:

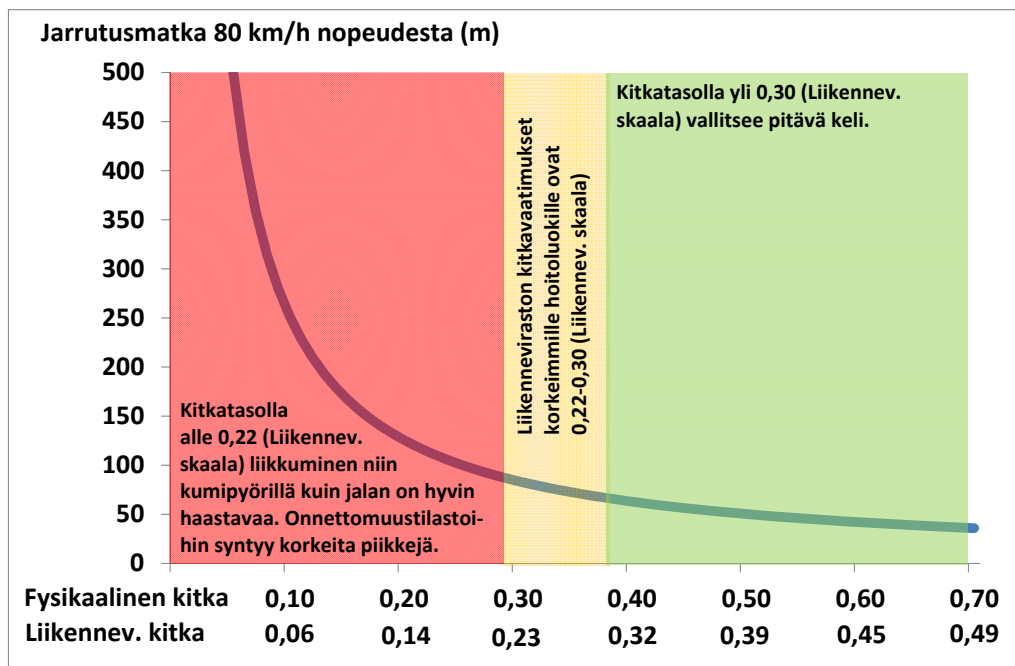
- m = ajoneuvon massa
- $v_0$  = jarrutusmatkan mittauksen lähtönopeus
- $v_i$  = jarrutusmatkan mittauksen loppunopeus
- $\mu$  = kitkakerroin
- g = maan vetovoiman kiihtyvyys, 9,82 m/s<sup>2</sup>
- L = jarrutusmatka

$$\Rightarrow \mu = ((v_0)^2 - (v_i)^2) / 2 g L$$

Kuva 3. Liikenneviraston kitkaskaala ja fysikaalinen kitkaskaala.



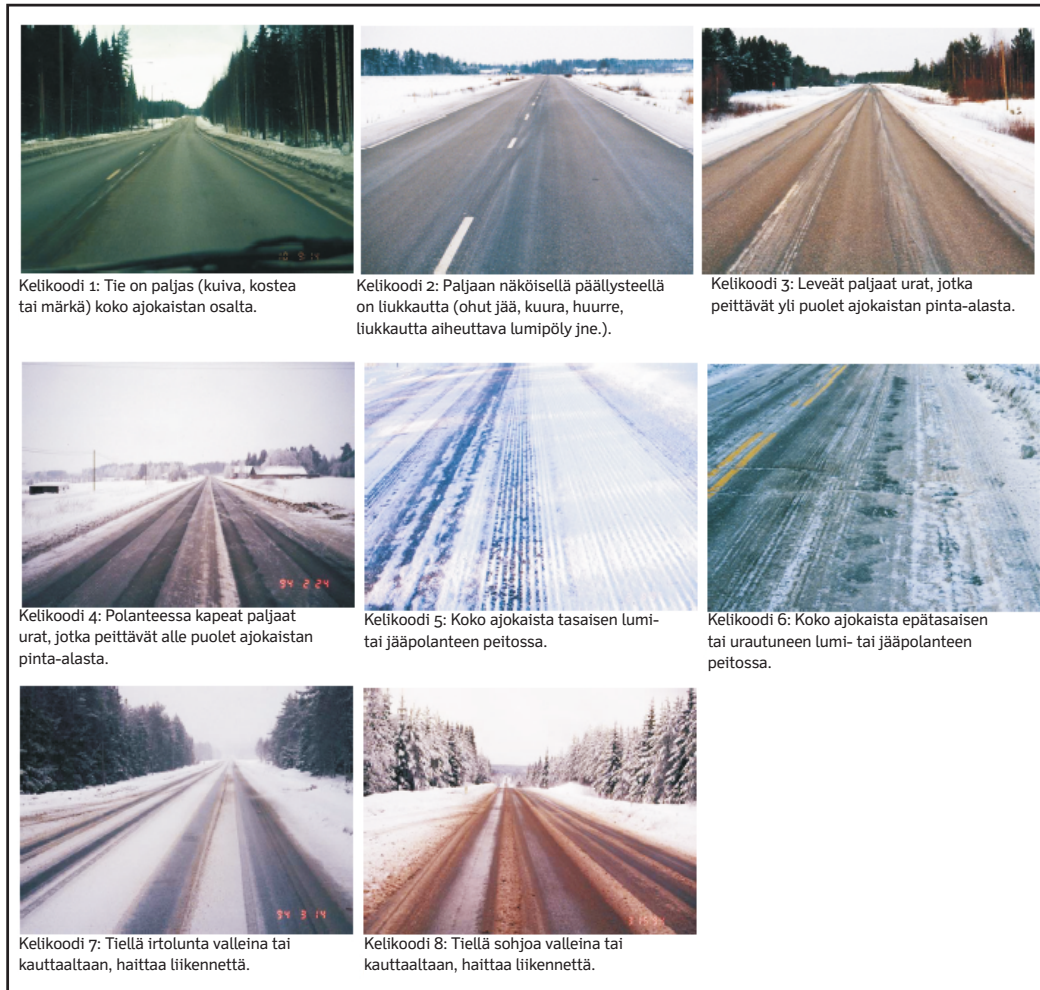
Kuvassa 4 on vielä hahmoteltu kitkalukemien ja jarrutusmatkan yhteyttä.



Kuva 4. Jarrutusmatka 80 km/h nopeudesta suhteessa eri kitkaskaaloihin (Malmivuo ja Luoma 2016).

### 3.3 Muut seurantamittausten laitteet ja menetelmät

Seurantaa tekevä ajoneuvo oli varustettu myös videokameralla, joka liitti videokuvaan automaattisesti GPS-koordinaatit. Mittausten yhteydessä kirjattiin ylös myös Liikenneviraston talvihoidon keskitetyn laadunseurannan mukainen kelikoodi (kuva 5). Kyseistä luokittelua oli mielekästä käyttää, koska tutkimuksen mittaaja (Juha-Matti Vainio) oli käyttänyt luokittelua vuosia ja siten menettely oli hänelle hyvin luontevaa.



Kuva 5. Talvihoidon keskitetyn laadunseurannan ohjeiston mukainen keliluokittelu

## 3.4 Vertailumittausten suoritus

Vertailumittaukset edellyttivät kohtalaista valmistelutyötä. Mittaukset etenivät pääosin seuraavasti:

1. Jatkuvan kelinseurannan tuloksena havaittiin, että tietyllä alueella ja tietyssä ajankohtana oli odotettavissa liukasta
2. Vertailumittauksia suoritettavan Road Masters Oy:n kanssa selvitettiin, sopisiko seuranta heidän aikatauluihinsa. Mahdollisesta mittauksesta ilmoitettiin myös VTT:lle.
3. Selvitetiin, liikkuko joku vertailun kohteena oleva Grip-ajoneuvo kyseisellä alueella ja ajankohtana. Yksikään Nesteen säiliöautoista ei ajanut mitään reittiä kiinteällä aikataululla. Ennalta tiedettiin vain, että autot liikkuvat tietyillä alueilla. Nesteen autoilla seuraavan päivän reitti päätettiin edellisenä päivänä klo 15. Reitti selvitettiin puhelimitse autoilijalta. Helsingin bussien vuorot ja linjat päätettiin yleensä edellisenä päivänä. Näihin päätöksiin saattoi kuitenkin vaikuttaa siten, että haluttuun vuoroon ja haluttuun ajankohtaan saatiin usein seurannan kannalta mielekkäitä busseja.

4. Mittauksesta ilmoitettiin etukäteen Grip-järjestelmästä vastanneelle VTT:n edustajalle. Yhdessä VTT:n edustajan kanssa myös tarkistettiin etukäteen, oliko seurannassa ehdolla olevan ajoneuvon Grip-laitteisto toiminut edeltävinä päivinä.
5. Liikennöitsijän kanssa sovittiin, mikä olisi sopiva ajankohta ja paikka päästä Grip-ajoneuvon matkaan. Ajankohta lyötiin lukkoon myös Road Masters Oy:n ja VTT:n kanssa.
6. Seuranta suoritettiin
7. Seurannan päättymisestä ilmoitettiin VTT:lle

Talvikauden aikana toteutettiin 7 seuranta-ajoa. Seurantojen haasteena oli, että muuttujia oli runsaasti. Näitä muuttujia oli ainakin:

- keliennusteiden paikkaansa pitävyys (tuleeko liukasta vai ei)
- Grip-järjestelmän toimivuus
- Vertailumittarien toimivuus
- Grip-ajoneuvon toimivuus
- Vertailumittauksia tekevän ajoneuvon toimivuus

Mainituista muuttujiin liittyvistä riskeistä kaikki muut, paitsi viimeinen toteutuivat talvikauden seurantojen aikana. Gripin toimivuutta säiliöautoissa oli helpompi seurata kuin busseissa. Säiliöautoista Grip-tietoa saatiin reaaliaikaisesti ja Gripin mahdolliseen toimimattomuuteen voitiin reagoida heti etäohjauksella. Busseissa kulloisenkin päivän Grip-data oli käytettävissä vasta päivän vaihtuessa seuraavaan. Tämän vuoksi saatettiin tehdä pitkäkin bussien seuranta ja huomata vasta myöhemmin, että bussin Grip ei ollut toiminut lainkaan (taulukko 1). Säiliöautoista saatiin 87 % seurantojen aikaisesta Grip-datasta, mitä voi pitää kohtuullisen tyydyttävänä määränä. Bussien osalta jäätin kuitenkin vain 38 %:iin (taulukko 2).

Taulukko 1. Tutkimuksessa toteutetut seurannat.

N:o	Pvm	Klo	Seuranta km	Grip km	Kohde	Olosuhteet	Paikka	Huom!
1	23.11.2015	06:25 - 10:30	108,5	37,0	Säiliöauto1	Alussa paljas päätie, lopussa suhteellisen liukas polanteinen pikkutie, -3°C	Pirkanmaa	Gripin kanssa käynnistymisongelmia, talteen saatiin vain noin 30 minuuttia Grip- dataa
2	4.1.2016	07:00 - 12:00	143,0	143,0	Säiliöauto1	Suhteellisen paljas keli, sateeton, pölyävää pakkaslunta, -15°C	Pirkanmaa	Säiliöauto rikkoutui ja sitä jouduttiin huoltamaan
3	12.1.2016	03:20 - 11:45	119,2	119,2	Säiliöauto2	Lumipyryä, -5°C	Hki-Porvoo	Säiliöauton tankkausongelma, tunnin tankkaus venyi kolmeen tuntiin
4	24.1.2016	16:23 - 23:33	165,9	165,9 + 82,5	Bussi1 ja Bussi2	Lumipyryä, -1°C	Helsinki, linja 560	Bussi2:n Grip tuotti dataa vain alle puolet ajasta (2 h 24 min)
5	3.2.2016	19:29 - 23:38	108,2	8,5 + 0,0	Bussi3 ja Bussi4	Ohutta kuuraa, kevyttä lumisadetta, - 2°C	Helsinki, linja 550	Bussi3 tuotti Grip- dataa vain noin 15 minuuttia ja Bussi4 ei lainkaan.
6	9.2.2016	05:00 - 18:41	471,0	435,0	Säiliöauto3	Hyvin vaihteleva keli, röntäsadetta, 0°C	Kemi - Kittilä - Sirkka	RCM411 hajosi juuri ennen testiä
7	9.3.2016	20:37 - 01:42	133,9	0,0	Bussi 5	Paljas ja ennusteita pitävämpi ja lämpimämpi keli, + 1°C	Helsinki, linja 550	Bussin Grip ei tuottanut dataa lainkaan
Yhteensä			1249,7	901,6 + 82,5	8 eri ajoneuvoa, Grip-dataa 6:sta			

Taulukko 2. Oletetun ja toteutuneen Grip-datan määrän vertailua (bussien osalta kilometrit ovat kaksi kertaa suurempia taulukon 1 seurantakilometreihin nähden silloin, kun seurattavana oli kaksi peräkkäin ajavaa bussia)

	Grip-dataa oletettiin saatavan (km)	Grip-dataa saatiin (km)	Osuus
Säiliöauto	841,7	734,2	87 %
Bussi	682,1	256,9	38 %
Yhteensä	1523,8	991,1	65 %

## 4 Tulokset

### 4.1 Luistosuhdehavaintojen vertaaminen optiseen kitkamittaukseen, jarrutus-kitkamittauksiin ja keliluokitteluun

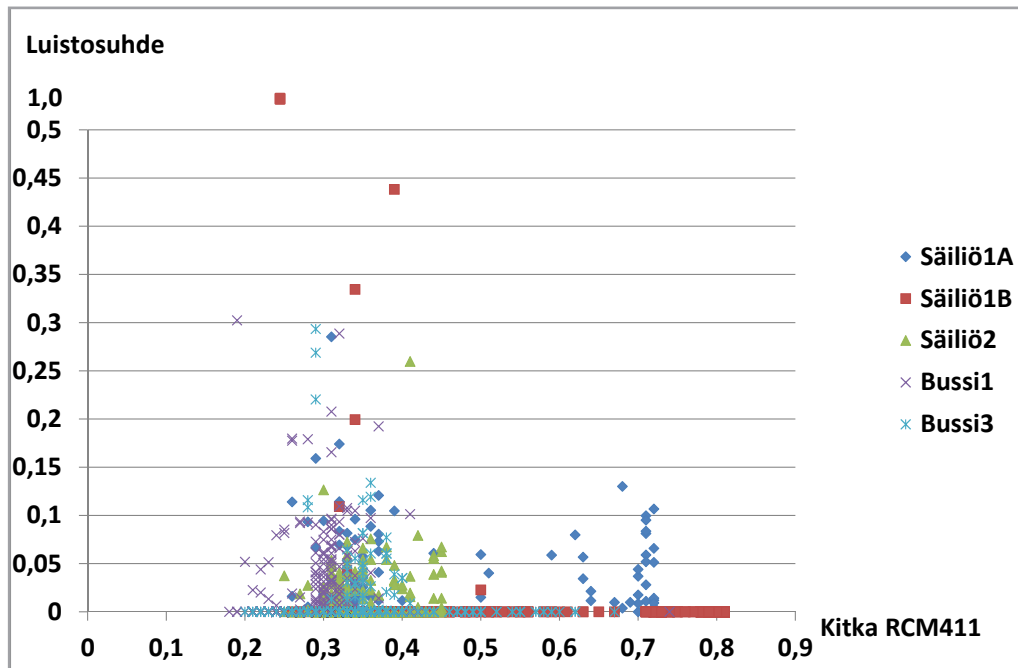
Kuvassa 6 on vertailtu luistosuhdehavaintoja optiseen kitkamittaukseen. Tilanteissa, missä Grip-menetelmä on käyttänyt 5 sekunnin tallennusväliä, on tässä vertailussa haettu Grip-havaintoa edeltävän 5 sekunnin jakson optisen kitkan minimi. Vastaavasti, mikäli Grip-tallennusaika on ollut 1 sekuntia, on tarkasteltu vain yksittäistä yhden sekunnin optista kitkahavaintoa. Havainnot on kohdistettu toisiinsa laitteiden GPS-koordinaattien perusteella.

Optisen kitkamittarin RCM411 ilmaisema kitka on fysikaalista kitkaa. Luistosuhde saa teorian mukaan sitä suuremman arvon, mitä liukkaammasta olosuhteesta on kyse. Kuvan mukaan havainnot käyttäytyvät varsin loogisesti lukuun ottamatta sitä, että Säiliö-auto 1:n ensimmäisessä testiajossa on saatu varsin korkeita luistosuhteita tilanteessa, jossa RCM411:n mukaan on varsin pitävää.

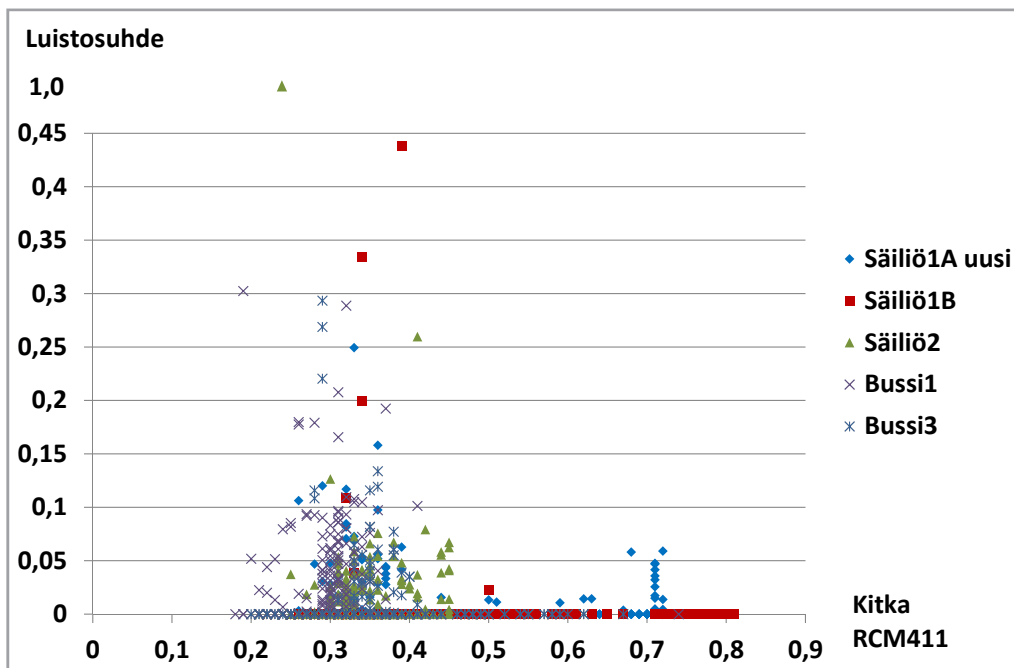
VTT:llä ei ole ollut järjestelmää kehittäessään käytettävissään sellaista vertailumittausaineistoa, mitä tässä tutkimuksessa on kerätty. Sen vuoksi VTT:n käyttöön annettiin ensimmäisen testipäivän vertailuaineisto pian kyseisen testin jälkeen. VTT:llä tarkennettiin laskenta-algoritmia tämän aineiston perusteella. Tätä uutta algoritmia käytettiin kaikissa muissa testeissä. Lisäksi ensimmäisen päivän testiaineisto laskettiin uudestaan tällä uudemalla algoritmilla. Kuva 6 on esitetty siten, että ensimmäisen päivän testissä ("Säiliö1A") on vanha algoritmi ja muissa testeissä uusi. Nämä kaikki tulokset ovat siten tilanteesta, jossa VTT ei ole tiennyt vertailumittausten tuloksia lähettäessään Grip-mittausten tulokset. Kuva 7 on muuten samanlainen, mutta ensimmäisen päivän testi on korvattu uudella algoritmilla lasketuilla tuloksilla. Tässä tarkastelussa ensimmäisen päivän testi ("Säiliö1A uusi") on sellainen, jossa VTT on tiennyt vertailumittausten tulokset lähettäessään Grip-mittausten tulokset. Koska tulosten muuttuminen on uusintalaskennan jälkeen varsin maltillista, niitä voidaan edelleen pitää varsin uskottavina.

Uusintalaskennan jälkeenkin ensimmäisen testipäivän tulokset poikkeavat melko voimakkaasti muiden päivien tuloksista. On mielenkiintoista, että säiliöauto 1:n toisessa testissä ei vastaavaa ongelmaa näy.

Kaikki yli 0,15 luistosuhteet tuntuvat syntyneen tilanteissa, joissa RCM411 kitka on korkeintaan 0,40. Tämä vastaa Liikenneviraston kitkaa 0,30, eli Is-teiden (mm. moottoritiet) kitkavaatimusta. Toisaalta matalilla optisen mittarin kitkoilla syntyy myös runsaasti nollahavaintoja (ei luistoa). Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että luistoa syntyy vain silloin, kun ajoneuvossa on veto päällä. Vapaasti rullatessa luistosuhdetta ei voi mitata.

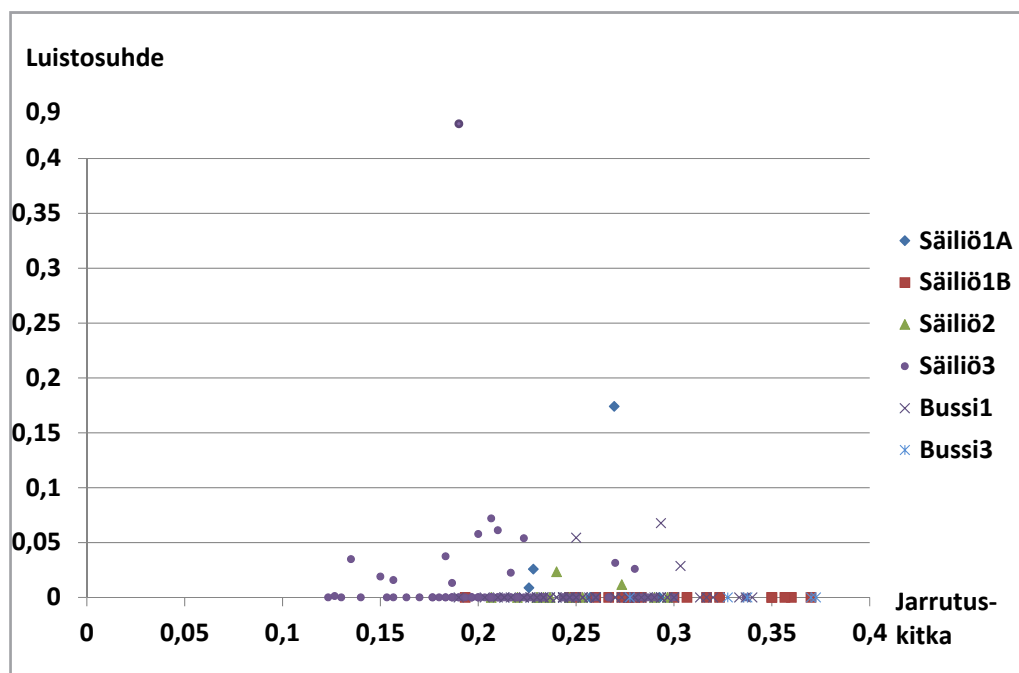


Kuva 6. Grip-järjestelmän tuottama luistosuhde sekä optisen kitkamittarin RCM411 mittaamat kitkat. Kuvassa on erilaisin merkein erotettu Säiliöauto 1:n ensimmäinen testi (Säiliö1A), Säiliöauto 1:n toinen testi (Säiliö1B), Säiliöauto 2:n testi (Säiliö2), Bussi 1:n testi (Bussi1) sekä Bussi 3:n testi (Bussi3).



Kuva 7. Grip-järjestelmän tuottama luistosuhde sekä optisen kitkamittarin RCM411 mittaamat kitkat. Kuvassa on erilaisin merkein erotettu Säiliöauto 1:n ensimmäinen testi uudella laskenta-algortimilla (Säiliö1A uusi), Säiliöauto 1:n toinen testi (Säiliö1B), Säiliöauto 2:n testi (Säiliö2), Bussi 1:n testi (Bussi1) sekä Bussi 3:n testi (Bussi3).

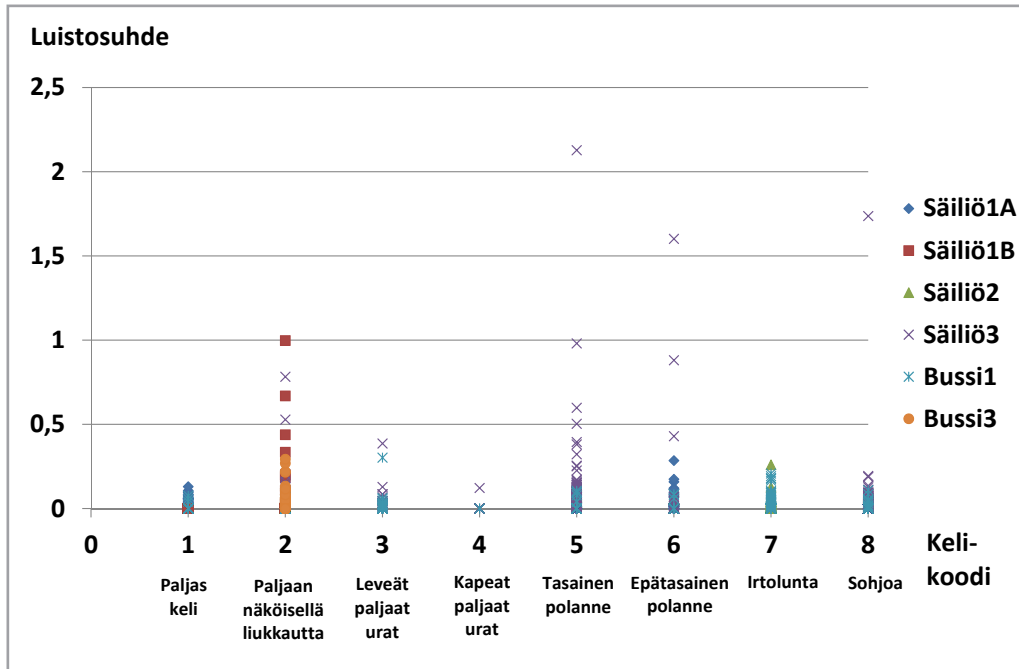
Kuvassa 8 on vastaavasti vertailtu luistosuhdehavaintoja jarrutuskitkamittaushavaintoihin. Kuvan kitkamittaustulokset ovat kolmella jarrutuskitkamittarilla saatujen tulosten keskiarvoja Liikenneviraston kitkaskaalassa. Koska jarrutuskitkamittaukset ovat pistekohtaisia mittauksia ja niitä voi suorittaa vain tietyissä liikenneolosuhteissa, on jarrutuskitkamittausten havaintomäärä huomattavasti pienempi kuin optisen kitkamittauksen. Koska jarrutuskitkamittaukset eivät läheskään aina osuneet tarkasti luistosuhteen mittaushetkeen, ovat niiden kohdistusehdot väljemmät kuin optisella kitkalla (mittaus on suoritettu edellisen Grip-havainnon jälkeen). Lisäksi jarrutuskitkamittauksia ei yleensä tehdä pitävällä asfaltilla, joten jarrutuskitkahavaintojen skaala on kohtalaisen suppea. Kuva 8 kuitenkin osaltaan vahvistaa havaintoa, että korkeammat luistosuhteet syntyvät yleensä alle 0,3:n kitkatasolla.



Kuva 8. Grip-järjestelmän tuottama luistosuhde sekä jarrutuskitkamittauksilla tuotetut kitkalukemat. Kuvassa on erilaisin merkein erotettu Säiliöauto 1:n ensimmäinen alkuperäinen testi (Säiliö1A), Säiliöauto 1:n toinen testi (Säiliö1B), Säiliöauto 2:n testi (Säiliö2), Säiliöauto 3:n testi (Säiliö3), Bussi 1:n testi (Bussi1) sekä Bussi 3:n testi (Bussi3).

Kuvassa 9 on verrattu luistosuhdetta mittaajan aistihavaintoihin perustuvaan keli-luokitteluun. Koska tällainen luokittelu on luonnollisesti ainakin osittain subjektiivista, sen tarkkuuteen on syytä suhtautua varauksin.

Korkeimmat luistosuhteet vaikuttavan löytyvän varsin odotetusti kelikoodeista 2 (paljaan näköisellä pinnalla liukkaita, esim. musta jää), 5 (tasainen lumi- tai jääpolanne) sekä 6 (epätasainen lumi- ja jääpolanne). Huolimatta yhdestä korkeasta sohjokelin luistosuhteesta, luistosuhteet irtolumi- ja sohjokeleillä jäävät ehkä hieman odotuksia matalammaksi. Tämä saattaa johtua osin siitä, että kuorma-auton rengas saattaa pitää irtolumella ja sohjolla suhteessa paremmin kuin henkilöauton (ks. kohta 4.2.6).



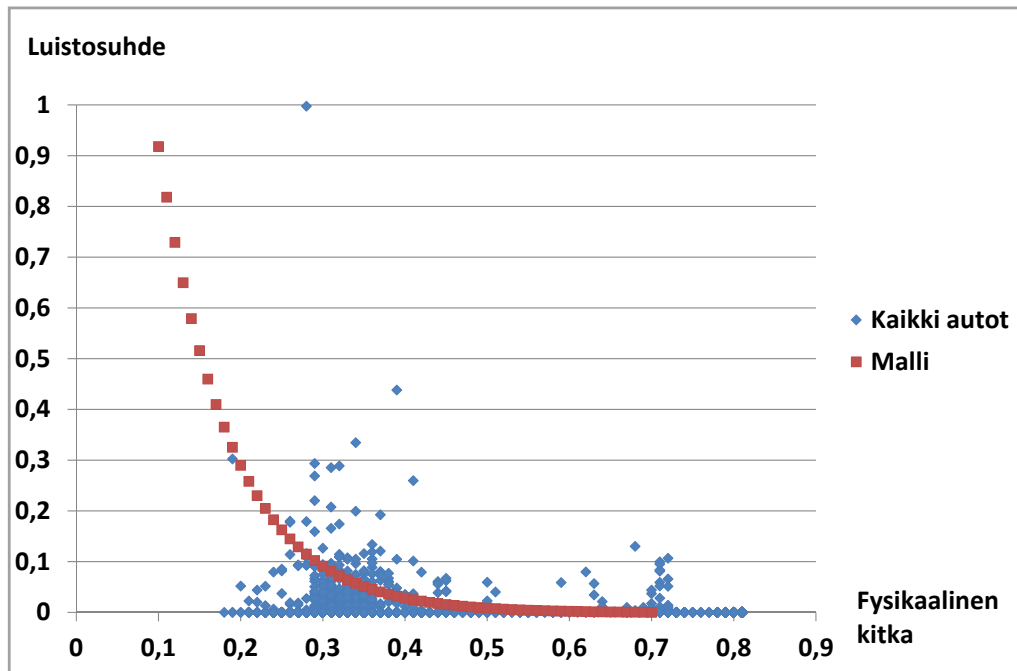
Kuva 9. Grip-järjestelmän tuottama luistosuhde sekä aistihavaintoihin perustuvat kelikoodit. Kuvassa on erilaisin merkein erotettu Säiliöauto 1:n ensimmäinen testi (Säiliö1A), Säiliöauto 1:n toinen testi (Säiliö1B), Säiliöauto 2:n testi (Säiliö2), Säiliöauto 3:n testi (Säiliö3), Bussi 1:n testi (Bussi1) sekä Bussi 3:n testi (Bussi3).

Kuvassa 10 on esitetty malli fysikaalisen kitkan ja luistosuhteen yhteydestä. Kuvan sisäiset pisteet vastaavat kuvan 6 optisen havaintoja. Malli on luotu seuraavasti:

"Oletetaan, että luistosuhteen arvo 0 antaa kitkaksi 0,71. Lisäksi oletetaan, että yli 1:n luistosuhde antaa kitkaksi 0,09. Kun fysikaalinen kitka laskee yhden sadasosan arvosta 0,71 arvoon 0,70, luistosuhde kasvaa arvoon 0,0001. Tämän jälkeen, kun fysikaalinen kitka laskee jälleen yhdellä sadasosalla, luistosuhteeseen lisätään osuus, joka on 12,2 % suurempi, kuin kitkan laskiessa edellisen kerran yhdellä sadasosalla."

Mallia käytetään hyväksi luvussa 4.2, jossa luistosuhdehavainnot on muutettu kitkalukemiksi mallin avulla. Ilman mallia luistosuhteen ja kitkamittausten vertailu on vaikeaa, sillä luistosuhde ja kitka käyttäytyvät vastakohtaisesti: kitkan laskiessa luistosuhde kasvaa. Tätä luistosuhteen perusteella arvioitua kitkaa kutsutaan jäljessä "Grip-kitkaksi".





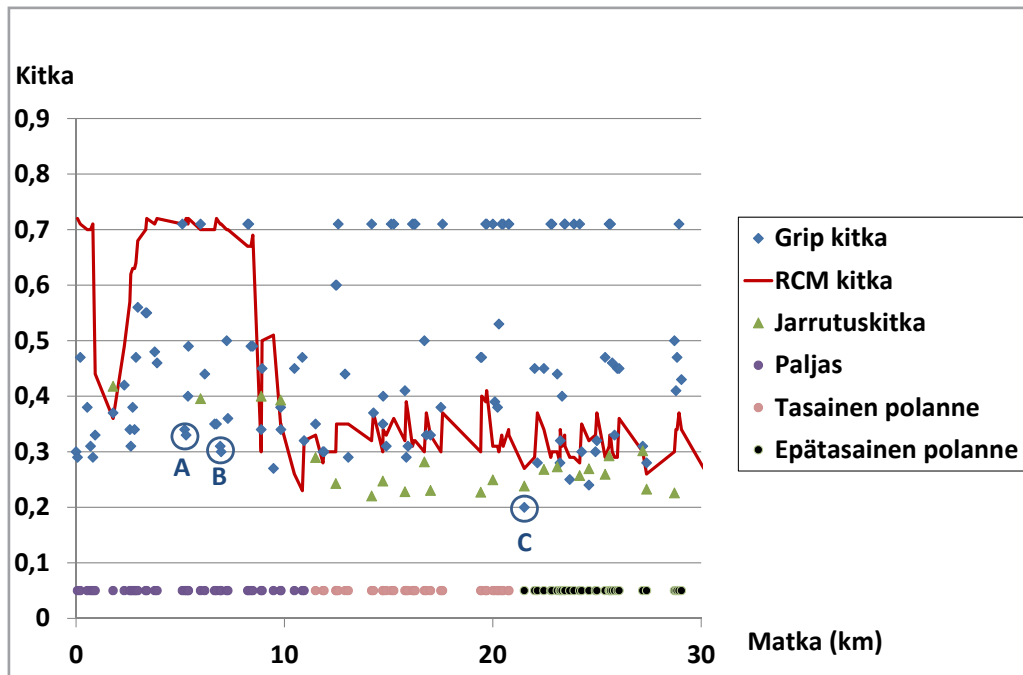
Kuva 10. Luistosuhde ja optisella kitkamittarilla mitattu fysikaalinen kitka (siniset pisteet) sekä luistosuhteen ja fysikaalisen kitkan suhdetta kuvaava malli (punaiset neliöt).

## 4.2 Yksittäisten testipäivien tarkastelu

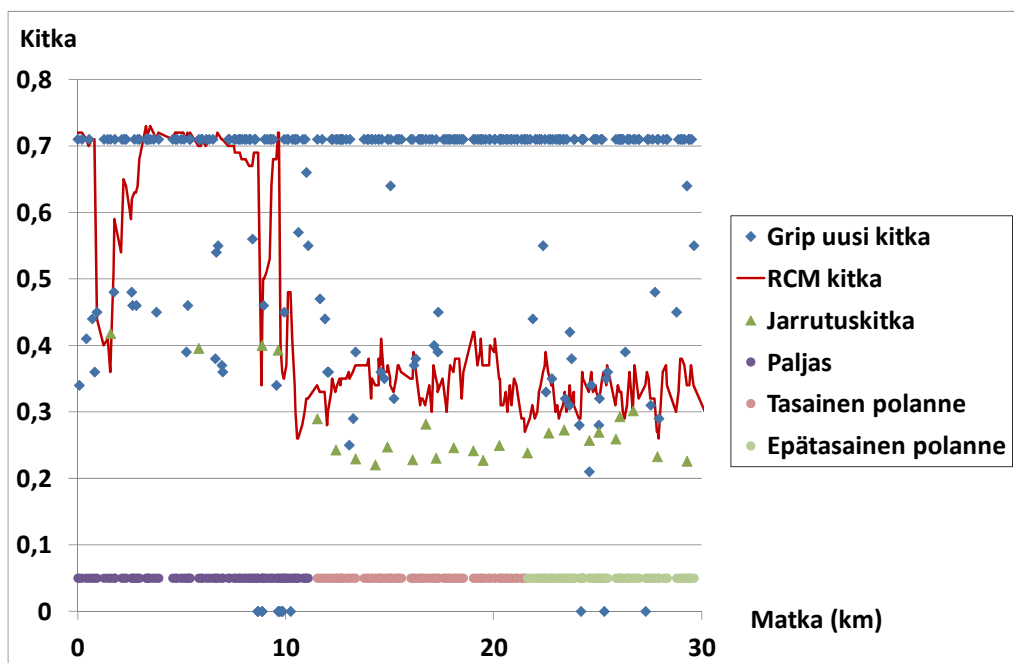
Tässä luvussa on tarkasteltu tuloksia yksittäisten testipäivien näkökulmasta.

### 4.2.1 Säiliöauto 1, 23.11.2015

Ensimmäinen testi oli säiliöauto 1:n seuranta Luoteis-Pirkanmaalla. Ilman lämpötila oli  $-3^{\circ}\text{C}$ , ajoittain pientä sadetta. Gripin käynnistysvaikeuksien vuoksi vertailuaineistoa saatiin kerättyä noin 30 kilometrin matkalta. Tästä vertailusta vajaat 10 km ajettiin paljaan oloisella 3-tiellä ja loppu osa vertailusta polannepintaisella alemman verkon tiellä. Tässä testissä Grip käyttäytyi kaikkein odottamattomimmin. Grip tuotti jo paljaan oloisella 3-tiellä suhteellisen matalia kitkoja (korkeita luistosuhteita), joskin matalin kitka saatiin polannepintaiselta tieltä (kuva 11). Kuvassa 12 on esitetty vastaava kuva uudella Gripin laskenta-algoritmillä.



Kuva 11. Säiliöauto 1:n seuranta 23.11.2015. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Grip-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.



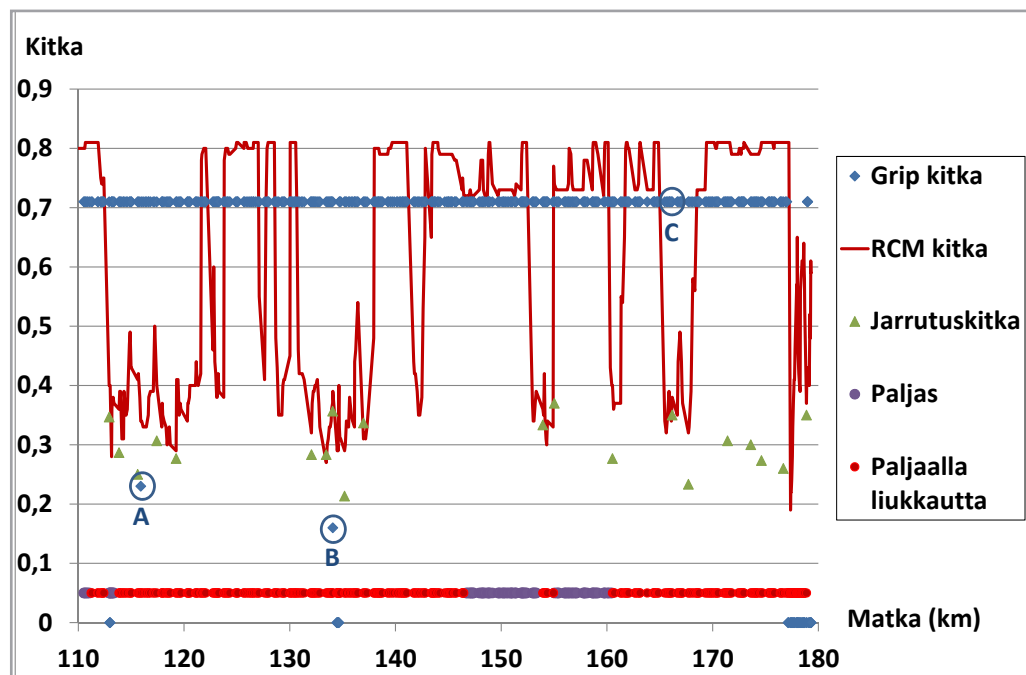
Kuva 12. Säiliöauto 1:n seuranta 23.11.2015. Luistosuhde kitkaksi muutettuna uudella laskenta-algoritmilla ("Grip-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat.

Liitteen 1 kuva 1 sisältää kolme kuvaa seurantaan tehneen mittausauton ajoneuvo-kamerasta. Kuvat vastaavat hyvin tarkkaan kuvan 11 ympyröityjen havaintojen tilanteita. Havainto A on tehty ylämäessä, havainto B suhteellisen tasaisella. Näissä kuvissa näkyy pientä värieroaa verrattaessa rengasurien päällystettä urien väliseen päällysteeseen. Onko kyse kuivuuserosta vai onko urien välissä havaittavissa pientä sohjoa? Kohdassa B on näkyvissä kevyttä räntäsadetta. Vaikka sekä mittaja että optinen kitkamittari pitivät olosuhteita pitävinä, aivan täyttä varmuutta ei pitävyydestä voi saada.

Liitteen 1 kuvan 1 kohdassa C on esitetty tilanne, josta saatiin testipäivän alhaisin Grip-kitka (alkuperäinen algoritmi). Mittauskohta on suhteellisen tasaisella tien osuudella, mahdollisesti hyvin loivassa ylämäessä. Kuvassa näkyy ohut lumipolanne päällysteen päällä.

#### 4.2.2 Säiliöauto 1:n seuranta 4.1.2016

Kuvassa 13 on esitetty toinen säiliöauto 1:llä tehty seuranta. Kyseessä oli testien kylmin päivä, lämpötila oli noin  $-15^{\circ}\text{C}$  ja ilma varsin selkeä. Kuvassa esitetty otos on seurannan loppupuolelta, sillä seurannan alkupuolella RCM411:n gps-signaalissa vaikutti olevan häiriöitä (seurannan loppupuolella tätä ongelmaa ei enää esiintynyt). Keli oli odotuksia pitävämpi, mutta seurantaan osui muutama hieman liukkaampi osuus. Säiliöauto antoi kahdesti alhaisempia Grip-kitkoja ja nämä havainnot osuivat varsin hyvin yksiin RCM-kitkan kanssa.

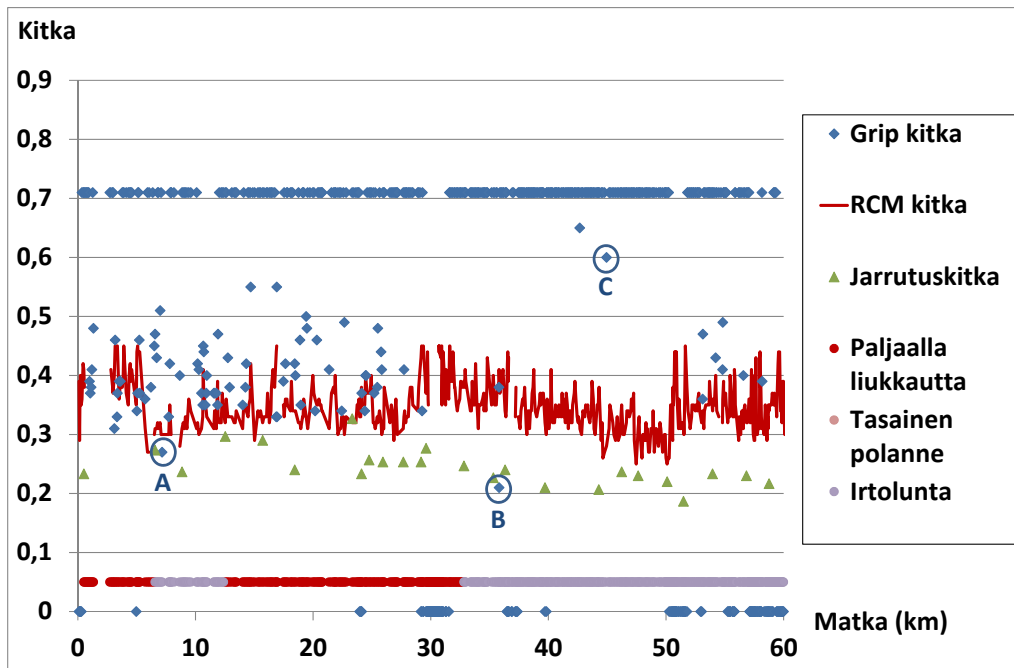


Kuva 13. Säiliöauto 1:n seuranta 4.1.2016. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Grip kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.

Liitteen 1 kuvasta 2 voidaan nähdä, että kohdan A paikka on ylämäessä. Havainnon B paikka on ylämäen jälkeen lähes tasaisella. Kohta C on loivasta ylämäestä. Kohta C on valaistukseltaan varsin hämärästä paikasta, joten kuvasta on vaikea päätellä, miksei tässä kohtaa Grip ole tehnyt havaintoja, vaikka RCM411 on pitänyt kohtaa melko liukkaana.

#### 4.2.3 Säiliöauto 2:n seuranta 12.1.2016

Säiliöauto 2:n seuranta tehtiin varhain aamulla tilanteessa, jossa suomeen saapui kova lumimyräkki. Ajokeliennusteiden mukaan vallitsi "erittäin vaikea ajokeli". Ilman lämpötila oli noin  $-5^{\circ}\text{C}$ . Kuvasta 14 voidaan nähdä, että Grip tuotti runsaasti havaintoja myräkän alussa, mutta paksummalla irtolumella havaintoja tuli selvästi harvemmin.



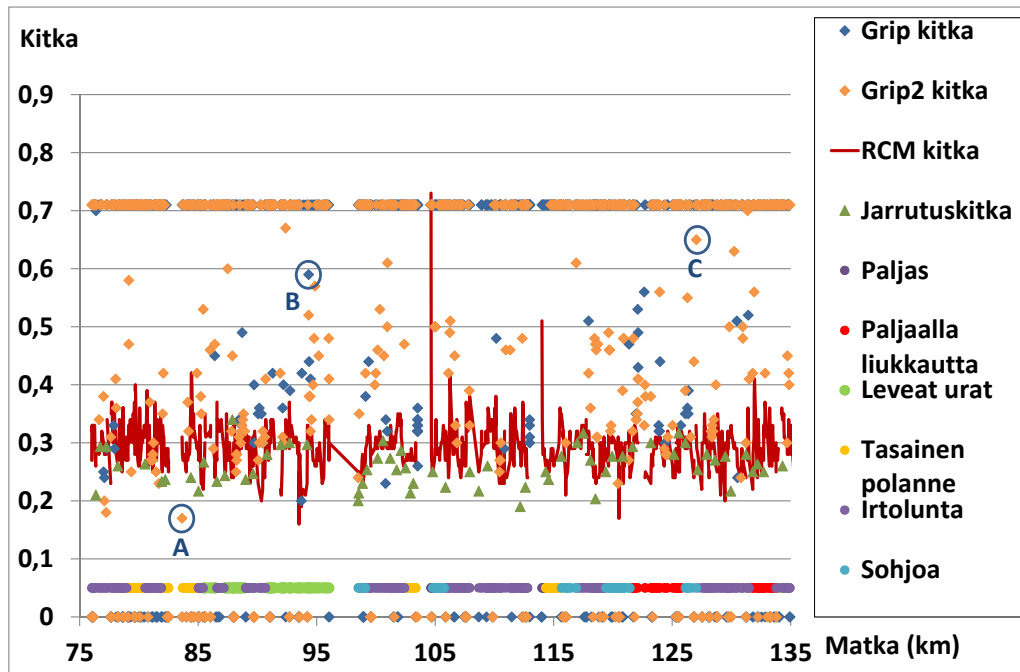
Kuva 14. Säiliöauto 2:n seuranta 12.1.2016. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Grip-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.

Liitteen 1 kuvan 3 taso on myräkän keskellä oletetusti huono. Tarkasti katsoen voidaan kuitenkin havaita, että lumimäärä kohdassa B ja C on selvästi korkeampi kuin kohdassa A. Vaikuttaa siis, että "pöperöisemmällä" kelillä Grip reagoi odotuksia harvemmin.

#### 4.2.4 Bussien 1 ja 2 seuranta 24.1.2016

Bussien 1 ja 2 seuranta suoritettiin sunnuntaina 24.1.2016 iltapäivällä linjalla 560 Helsingissä. Seuranta suoritettiin siten, että koko seurannan ajan ajettiin bussin 1 perässä. Bussi 2 ajoi samaa reittiä, mutta Bussi 1:een nähden 15 minuuttia aikaisemmin lähtenyt vuoro. Siten seurannassa oli mahdollista verrata sekä bussin 1 että bussin 2 Grip-havaintoja RCM411:n ja jarrutuskitkamittarien kitkaan.

Keli oli varsin vaihteleva, mutta pääosin talvinen ( $-1^{\circ}\text{C}$ ). Kumpikin bussi tuotti runsaasti havaintoja, jotka olivat keskenään varsin saman suuruisia. Tasollisesti Grip-kitkat olivat hieman odotettua korkeampia. Bussien havainnot eivät kuitenkaan osuneet jatkuvasti samoihin kohtiin (kuva 15).



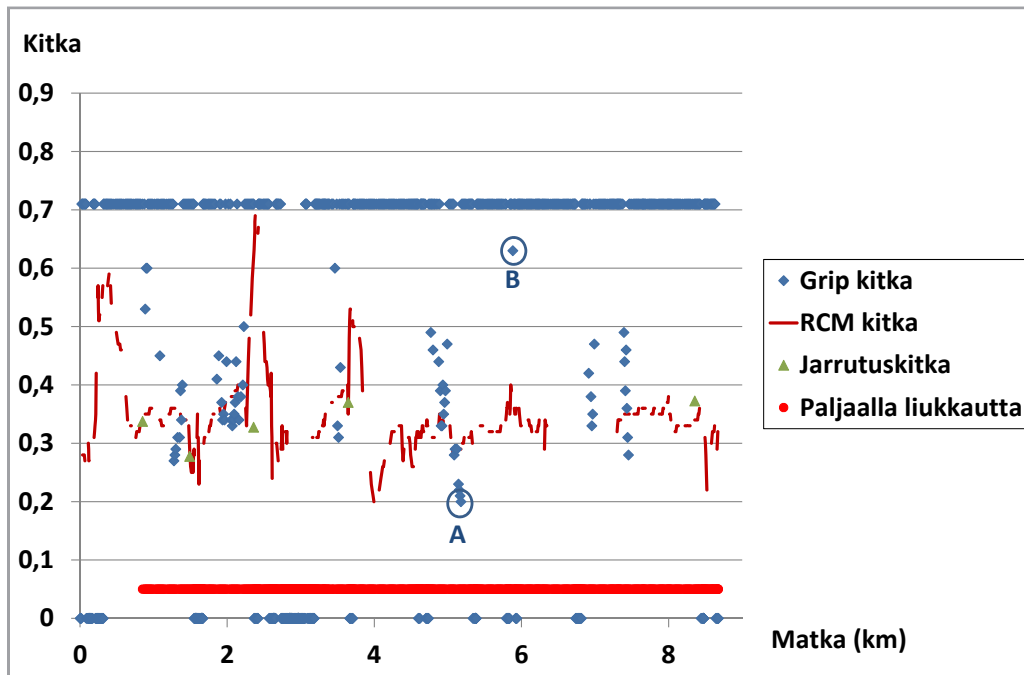
Kuva 15. Bussi 1:n ja bussi 2:n seuranta 24.1.2016. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Bussi 1: Grip-kitka, bussi 1: Grip2-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fyysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.

Liitteen 1 kuvan 4 ensimmäinen kohta A edustaa tilannetta, jossa Bussi 2 tuotti matalimman Grip-kitkan. Tarkkaan katsoen vasemmassa urassa bussin takana vaikuttaisi olevan hieman kiiltelyä ja ainakin ajourat ovat lumisemmat kuin kohdissa B ja C. Kohdassa B bussi 1 tuotti varsin korkean, lähes luokkaa 0,6 olevan Grip-kitkan. Kuvassa ajourat ovat kohtalaisen leveät, joskin ilmassa on edelleen lumensekaista sadetta. Kohdassa C bussi 2 tuotti korkean, yli 0,6:n suuruisen Grip-kitkan. Kohdan C olosuhteet muistuttavat paljon kuvan B olosuhteita.

#### 4.2.5 Bussien 3 ja 4 seuranta 3.2.2016

Keskiviikkoiltana 3.2.2016 suoritettiin bussien 3 ja 4 seuranta linjalla 550 Helsingissä. Seurannassa ajettiin bussi 3:n perässä. Bussi 4 ajoi aikataulun mukaan kymmenen minuuttia bussi 3:a aiemmin. Koska bussien tuottamaa dataa päästiin tarkastelemaan ainoastaan jälkeenpäin, vasta kokeen jälkeen havaittiin, ettei bussi 4 ollut tuottanut kokeen aikana Grip-datan lainkaan. Lisäksi bussi 3:n Grip oli toiminut vain 15 minuutin ajan. Koetta edeltävänä päivänä kummankin bussin Grip oli toiminut moitteetta.

Kyseisen 15 minuutin aikana RCM411 ja Grip-datan keskinäinen GPS-kohdistus onnistui vain ajoittain. Tämä näkyy kuvassa 16 katkonaisena RCM411:n kitkana. RCM411 datan katkonaisuudesta huolimatta voidaan havaita, että Gripin tuottamat kitkahavainnot vaikuttavat olevan kohtuullisen järkevällä tasolla.



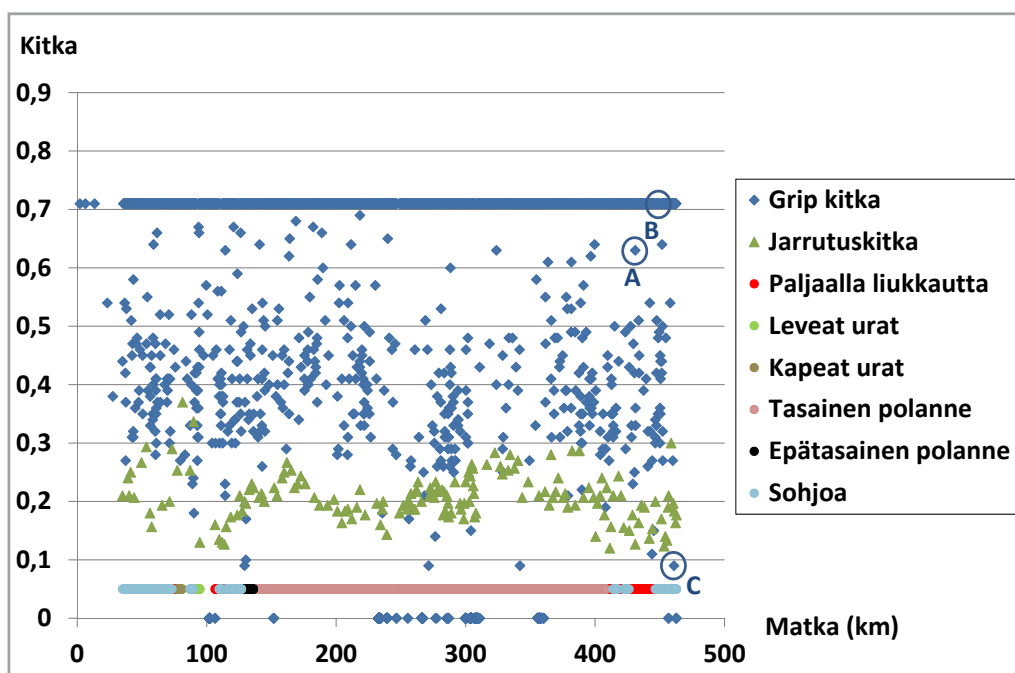
Kuva 16. Bussi 3:n seuranta 3.2.2016. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Grip-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliuokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.

Liitteen 1 kuvassa 5 on tarkasteltu kuvan 16 pisteiden A ja B keliolosuhteita. Liitteen 1 kuvan 5 kohdassa A on Gripin mukaan seurannan alhaisin kitka. Kuvassa nähdään lähes paljaan näköinen ajorata samalla kun sää vaikuttaa hieman sateiselta. Seurannan korkeimpia Grip-kitkoja nähdään kohdassa B. Ilma on selkeämpi ja ajorata puhtaamman oloinen. Tämä on niitä harvoja tilanteita, jolloin Grip-kitkaa on tullut risteysalueelta. Käytännössä bussien etuakselin nopeusraja 20 km/h rajaakin yleensä jyrkkien käännosten havainnot pois.

#### 4.2.6 Säiliöauto 3:n seuranta 9.2.2016

Säiliöauto 3:n seuranta suoritettiin Lapissa 9.2.2016 Kemin ja Sirkan välillä. Seuranta kesti käytännössä varhaisesta aamusta aina iltaan asti. Valitettavasti juuri testipäivää edeltäneenä iltana havaittiin optisen kitkamittarin RCM411:n rikkoutuneen. Koska testissä vaikutti erittäin mielenkiintoiselta (rätäsade lähellä nollaa) ja testireitti erinomaiselta (vain noin kerran viikossa ajettava vaihteleva tiestö laajalla tieverkolla), testi päätettiin kuitenkin toteuttaa pelkästään jarrutuskitkamittareita referenssilaitteena käyttäen.

Testin aikana syntyi runsaasti Grip-kitkahavaintoja, kuitenkin niin, että havainnot olivat jonkin verran odotuksia korkeampia. Etenkin testin loppuvaiheessa syntyi runsaasti noin 0,12 suuruisia jarrutuskitkoja. Nämä jarrutuskitkahavainnot olivat alhaisempia, kuin missään toisessa testissä. Testin loppuvaiheessa syntyi kuitenkin vain muutama alhainen Grip-kitkahavainto (kuva 17). Säiliöauton kuljettajan mukaan testipäivän kaltaisessa rätäsateessa raskas ajoneuvo pitää selvästi henkilöautoa paremmin. Tämä saattaa osaltaan selittää jarrutuskitkan ja Grip-kitkan välistä eroa.



Kuva 17. Säiliöauto 3:n seuranta 9.2.2016. Luistosuhde kitkaksi muutettuna ("Grip-kitka"), RCM411 mittaama optinen kitka fysikaalisena kitkana, sekä jarrutuskitka Liikenneviraston asteikolla. Lisäksi kuljettajan kirjaamat keliluokat. Sinisellä ympyrällä on merkitty tilanteet, joista on jäljessä haettu kuvatallenteet.

Liitteen 1 kuva 6 esittelee kuvassa 17 esitettyjen havaintojen A, B ja C kelitilanteet. Kohdassa A on saatu kohtalaisen korkea Grip-kitka. Kohdassa B ei saatu varsinaista Grip-kitkaa lainkaan samalla hetkellä, kun saatiin testin matalin jarrutuskitka (0,12). Kohdassa C taas saatiin yksi testin matalimmista Grip-kitkoista. Kuvan C keli näyttää paljaimmalta, kun taas kuvassa A ja B on enemmän sohjoa ajourissa. Kuvasarja vahvistaa mielikuvaa siitä, että Grip reagoi herkemmin kiinteämmän pinnan liukkauteen kuin sohjoon tai irtolumeen.

## 4.3 Grip kesä- ja talvikelissä

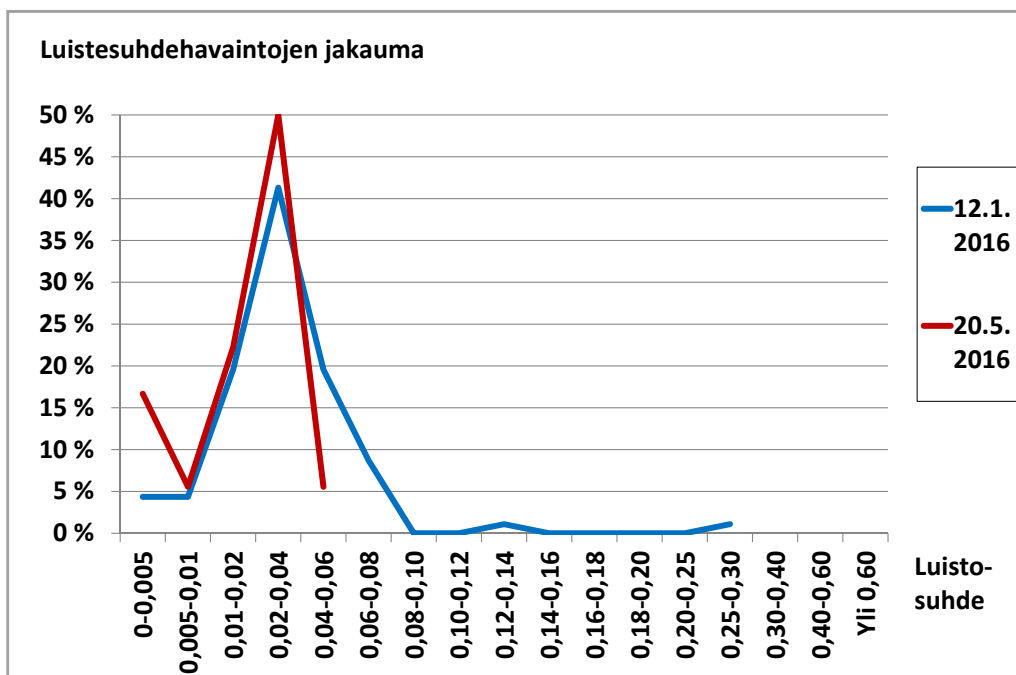
Tehtyjen Grip-testien eräänä puutteena voidaan pitää, että selkeitä kelinmuutos-tilanteita ei testien aikana nähty Säiliöauto 1:n testejä lukuun ottamatta. Edelleen epäselväksi jäi, oliko Säiliöauto 1:n ensimmäisessä testissä näkyvät paljaan kelin luistosuhteet poikkeus vai sääntö?

Tämän vuoksi Säiliöauto 2:n ja 3:n sekä Bussien 1 ja 2 talvisia testejä haluttiin vielä verrata vastaavilla ajoneuvoilla kerättyyn kesäpäivien dataan. On syytä ottaa huomioon, ettei tässä luvussa esitettyinä ns. kesäkelipäivinä ole tehty lainkaan vertailumittauksia. Öljyn, paikallisen kovan vesisateen tai muun vastaavan tietä liukastavan tekijän vaikutusta ei voida siten sulkea kesäkelihavainnoista täysin pois.

Kaikilta autoilta pyrittiin kesäkelidataa löytämään aurinkoiselta ja sateettomalta toukokuun 20. päivästä 2016. Jos dataa ei kyseiseltä päivältä löytynyt, etsittiin dataa muilta kesäisiltä päiviltä.

### 4.3.1 Säiliöauto 2 talvi- ja kesäkelissä

Säiliöauto 2:n talvisessa lumimyräkässä 12.1. ajettua testiä on kuvassa 18 verrattu poutaisena toukokuun päivänä (+ 18°C) 20.5. verrattuun ajoon. Kumpanakin päivänä suurin osa nollasta poikkeavista luistosuhdehavainnoista osuu välille 0,02–0,04. Lumimyräkässä syntyi kuitenkin sellaisia yli 0,06:n luistosuhteita, mitä ei kesäpäivänä syntynyt lainkaan.



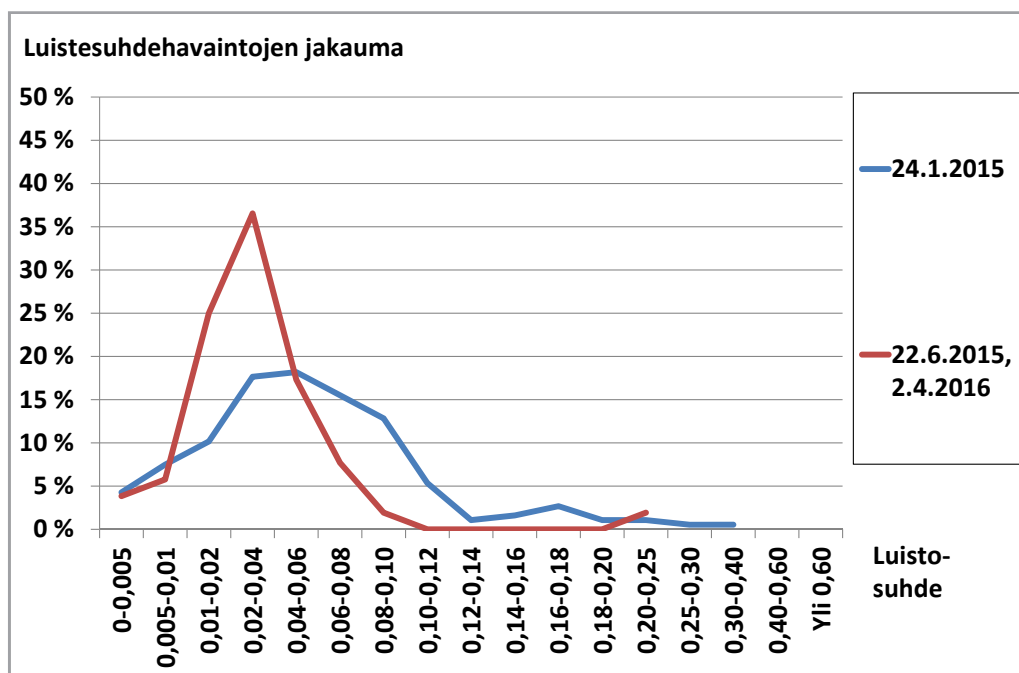
Kuva 18. Säiliöauto 2:n nollan ylittävien luistosuhdehavaintojen jakauma talvikelillä 12.1.2016 ja kesäkelillä 20.5.

### 4.3.2 Bussi 1 talvi- ja kesäkelissä

Bussi 1:n osalta dataa ei löytynyt lainkaan 20.5.2016. Kesäkelidataa löydettiin 22.6.2015 ja 2.4.2016. Bussi 1 antoi sekä kesä, että talvikelissä korkeampia luistosuhdehavaintoja kuin säiliöauto 2 (kuva 19). Kesä- ja talvihavaintojen jakauma kuitenkin erosi toisistaan. Yllättäen Bussi 1 antoi 2.4.2016 (poutasää, teiden pintalämpötilat paikoin yli 10°C) yli 0,20 suuruisen luistosuhdehavainnon. Havainto



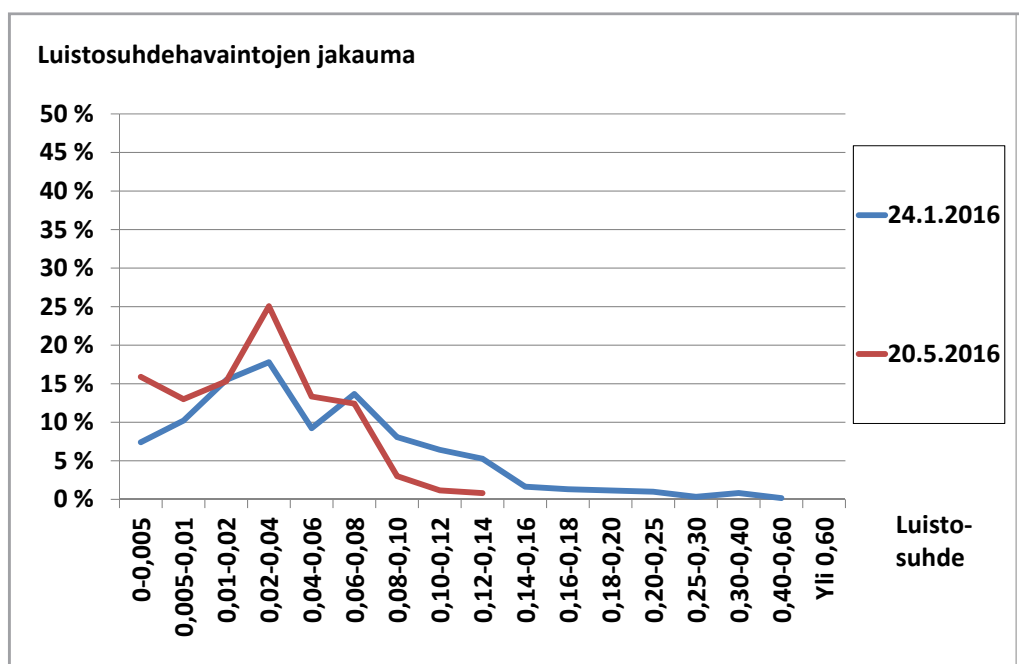
saattoi kuitenkin liittyä järjestelmän häiriöön: havainnon ns. GPS-nopeus oli vain 7 km/h samalla kun etuakselinopeus (joka määrittää havainnon nopeusrajan) oli 69 km/h.



Kuva 19. Bussi 1:n nollan ylittävien luistosuhdehavaintojen jakauma talvikelillä 24.1.2016 ja kesäkelillä 22.6.2015 ja 2.4.2016.

#### 4.3.3 Bussi 2 talvi- ja kesäkelissä

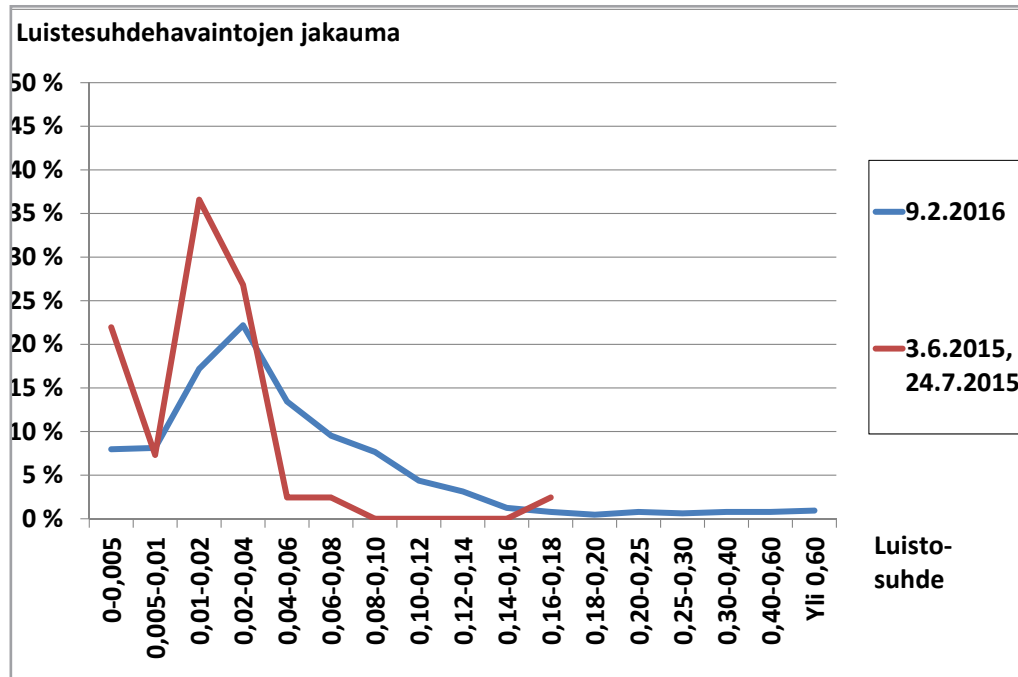
Bussi 2:n luistosuhdehavaintojen jakauma muistuttaa pääpiirteissään Bussi 1:n luistosuhdehavaintojen jakaumaa (kuva 20). Talvikeli havaintojen osaltahan tämä oli odotettua, sillä bussien talvijakaumat ovat samalta reitiltä ja likimain samalta ajanjaksolta.



Kuva 20. Bussi 2:n nollan ylittävien luistosuhdehavaintojen jakauma talvikelillä 24.1.2016 ja kesäkelillä 22.6.2015 ja 2.4.2016.

#### 4.3.4 Säiliöauto 3 talvi- ja kesäkelissä

Säiliöauto 3:n talvi- ja kesäjakaumat vastaavat pääpiirteissään edellä kuvattuja jakaumia (kuva 21). Säiliöauto 3:lta löytyy yksi suurempi luistosuhdehavainto kesäkelissä. Kyseinen hetki on 24.7. 2015 aamulla 8:24 muutama kymmenen kilometriä Kemien pohjoispuolella. Tätä kirjoitettaessa käytettävissä ei ollut kyseisen paikan ja ajankohdan tarkkoja säätietoja.



Kuva 21. Säiliöauto 3:n nollan ylittävien luistosuhdehavaintojen jakauma talvikelillä 9.2.2016 ja kesäkelillä 3.6.2015 ja 24.7.2015.

Yhteenvedon voidaan todeta, että kaikilla tarkastellulla neljällä eri Grip-ajoneuvolla oli selvästi erottuva talvi- ja kesäkelien luistosuhdehavaintojen jakauma. Samalla kuitenkin havaittiin, että kun varsinaisessa testissä korkeimmat paljaan kelin luistosuhteet olivat 0,06 (ensimmäinen testi uudella algoritmilla), saattaa kesäkelillä kuitenkin ajoittain syntyä 0,10–0,13 suuruisia luistosuhteita. Toki on edelleen muistettava, että myös kesäkelillä korkeita luistosuhteita tuottavien Grip-ajoneuvojen tuloksia voidaan kalibroida alemmaksi.

Vaikuttaa myös ilmeiseltä, että liukkaudentunnistusta saattaisi parantaa se, että selkeiden luistosuhderaja-arvojen ohella tarkastellaan myös sitä, kuinka suuri osuus luistosuhteista ylittää tietyn raja-arvon.

## 5 Grip-järjestelmän toimivuuden arviointia ja vertailua FCD-järjestelmään

Tässä raportissa esitetty Grip-järjestelmän testaus on toinen Suomessa laajemmin tarkasteltu ajoneuvon omiin tietolähteisiin perustuvan liikkuvan kelinseuranta-järjestelmän kokeilu. Ensimmäinen vastaavan kaltainen järjestelmätestaus tehtiin ns. FCD-kelipilotilla. Kyseisessä pilotissa testattiin vuosina 2013–2015 ajovakauden hallintajärjestelmien kykyä liukkaudentunnistukseen (lisätietoja: Malmivuo 2015). Tutkimuksen perusteella esitettiin myös tarkkuusvaatimukset Gripin kaltaiselle liikkuvalla kelinseurantajärjestelmälle. Tässä luvussa etsitään vastausta kahteen kysymykseen:

- Onko Grip tarkempi tai epätarkempi järjestelmä kuin FCD-kelipilotti?
- Täyttääkö Grip edellä mainitussa vuoden 2015 tutkimuksessa asetetut liikkuvan kelinseurantajärjestelmän tarkkuusvaatimukset?

### 5.1 FCD:n tarkkuus sekä asetetut tarkkuusvaatimukset

FCD-järjestelmän toimivuutta arvioitiin taulukon 3 mukaisesti. Taulukko perustui siihen, että tutkittavan laitteen ("mitattava laite") perässä ajettiin optisella kitkamittarilla varustetulla henkilöautolla (kuten tässäkin tutkimuksessa). Tämän jälkeen optisen kitkamittarin data jaettiin 100 metrin osuuksiin. Mikäli 100 metrin osuudella optisen kitkamittarin keskiarvo oli alle 0,40, kyseinen osuus oli "liukas" ja mikäli korkeampi, osuus oli vastaavasti "pitävä". Samat satametriset jaettiin liukkaisiin ja pitäviin myös FCD-menetelmän osalta. Mikäli ajovakauden hallinta aktivoitui kyseisellä satametrisellä, se oli myös FCD-menetelmän mielestä "liukas". Mikäli aktivointia ei tapahtunut, satametrinen oli FCD:n näkökulmasta "pitävä". Tämän jälkeen tulokset vietiin taulukkoon 3 siten, että luvut  $O_1$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  ja  $O_2$  olivat satametrysten kappalemääriä.

Taulukko 3. Liukkauden ja pitävien satametrysten luokittelu

		Referenssilaitte	
		Liukas	Pitävä
Mitattava laite	Liukas	$O_1$	$V_1$
	Pitävä	$V_2$	$O_2$

Ajovakauden aktivoitumisesta kertovan mittaristovalon perusteella FCD-testien aiheisto jakautui taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. Liukkauden ja pitävien satametrysten luokittelu FCD-kelipilotissa

		RCM411	
		Liukas	Pitävä
Valo	Liukas	9	1
	Pitävä	838	3400

Luotettavimpana tunnuslukuna pidettiin ns. yhdenmukaisten liukkaushavaintojen osuutta. Tämän tunnusluvun kaava on:

$$\text{Yhdenmukaisten liukkaushavaintojen osuus} = O1 / (O1 + V1 + V2)$$

Taulukon 4 mukaisella FCD-kelipilotin aineistolla saadaan tunnusluvun arvoksi 1,1 %. FCD-kelipilotin yhteydessä myös määriteltiin tällaisen järjestelmän tarkkuusvaatimukset. Sen mukaan tällaisessa testissä, jossa liukkausrajana on fysikaalisen kitkan 0,40, yhdenmukaisten liukkaushavaintojen osuus tulisi olla vähintään 50 %. Samalla kuitenkin todettiin, ettei tehty tutkimus riittä tarkkojen raja-arvojen luomiseen ja että vaatimusta voidaan myöhemmin tarkentaa.

## 5.2 Gripin tarkkuus suhteessa FCD:hen ja vaatimuksiin

Taulukossa 5 on jaoteltu Grip-testien satametriset edellä kuvattujen ehtojen mukaan. Liukkausrajana on pidetty RCM411:n mukainen 0,40. Aineistoon on otettu mukaan 4.1., 12.1., 24.1., 3.2 testit sekä myös 23.11. uudella algoritmilla. Lisäksi pitävän kelin osalta otettiin mukaan vielä Bussi2:n ja Bussi3:n aineisto 20.5.2016 (nämä datat olivat ainoina kesäpäivien datoina ns. tiheästi päivittyviä, mikä oli edellytys tälle analyysille). Analyysiä tehdessä oli vaikea päättää, luetaanko mukaan vain ne satametriset, jolloin Gripiltä tuli havainto, vai myös ne satametriset, jolloin Gripiltä ei tullut mitään havaintoa. Käytännössä 5 sekunnin havaintoväli tarkoitti, että 80 km/h nopeudessa havaintoja on tullut 111 metrin välein, jolloin havaintoja ei ole jokaiselle satametriselle riittänyt. Toisaalta Gripin havaitessa liukkautta sen oli tarkoitus lähettää havainto välittömästi. Näin ollen voitaisiin päätellä, että mikäli joltain sataselta ei ole tullut Grip-havaintoa, siellä ei ole Gripin mukaan ollut liukasta. Pienemmällä tallennusvälillä Gripin liukkaushavaintoja olisi tullut kuitenkin enemmän, joten tallennusväli ei välttämättä ollut täysin optimaalinen tämän testin kannalta. Oikea satasten määrä on siis mitä ilmeisimmin lukujen "kaikki satametriset" (taulukossa 5 suluissa oleva numero) ja "ne satametriset joilta Grip-havainto" välillä (taulukossa 5 sulkujen edellä oleva numero).

Edellistä suurempi ongelma on se, että mikä Gripin luistosuhde olisi oikea jakamaan Grip-satametriset liukkaisiin ja pitäviin. Taulukossa 5 on käytetty luistosuhderajaa 0,122. Kyseinen luku valittiin sillä perusteella, että se jakoi Gripin liukashavainnot samassa suhteessa RCM411:een nähden kuin FCD:n liukashavainnot olivat jakautuneet (90 % Gripin liukkaushavainnoista vastasi RCM411 liukkaushavaintoja). Tällöin yhdenmukaisten liukkaushavaintojen osuus saa Gripillä arvoksi 1,7 % - 2,7 % riippuen laskentaan mukaan otettavien satametristen lukumäärästä. Luku on selvästi suurempi kuin FCD-kelipilotilla, mutta vielä perin kaukana 50 % tavoitteesta.

Tarkempi analyysi kuitenkin osoitti, että tunnusluku sai sitä suuremman arvon, mitä pienempää luistosuhteen raja-arvoa käytettiin. Yhdenmukaisten liukkaushavaintojen osuus oli yli 30 % luistosuhteen raja-arvolla 0, eli tilanteessa, jossa jokainen Gripin havainto, myös 0-havainto olisi tulkittu liukkaudeksi. **Tunnusluku ei siis toiminut järjestelmän luotettavuuden arvioimiseen.**

Taulukko 5. RCM411:n ja Gripin jakamat satametriset liukkaisiin ja pitäviin, kun liukkausraja RCM411:n mukaan 0,40 (kitka) ja Gripin mukaan 0,122 (luistosuhde)

		RCM 411	
		Liukas	Pitävä
Grip	Liukas	35	4
	Pitävä	1288 (2049)	430 (2627)

## 5.3 Liikkuvan kelinseurantajärjestelmän tarkkuudesta

Liukkaudentunnistuksen tarkkuus riippuu käytännössä kahdesta tekijästä:

1. Kuinka luotettavia liukkaushavainnot ovat, eli tässä tapauksessa kuinka usein Gripin havaitsema liukas kohta on myös RCM411:n mukaan liukas. Eli kaavana *liukkaushavaintojen oikeellisuus* =  $O_1/(O_1+V_1)$
2. Kuinka suuri osa liukkaista jaksoista on huomattu, eli kaavana *liukkaudesta havaittu* =  $O_1/(O_1+V_2)$

Nämä tekijät ovat toisistaan riippuvaisia. Mikäli Gripin luistosuhteen liukkauden raja-arvoa nostetaan liukkaushavaintojen oikeellisuus kasvaa (kaava 1 saa suuremman arvon), mutta liukkaudesta havaitaan vähemmän (kaava 2 saa pienemmän arvon). Kun Gripin raja-arvoa lasketaan, käy päinvastoin. Todennäköisesti liikkuvan kelinseurantajärjestelmän toimivuus tulisi määritellä näiden kahden luvun suhteena: jos liukkaushavaintojen oikeellisuus on X %, liukkaudesta tulee havaita Y %.

Edellä kuvatussa laskelmassa Grip havaitsi noin 2–3 kertaa useammin liukkauden kuin FCD tilanteessa jossa Gripin ja FCD:n liukkaushavaintojen oikeellisuus oli yhtä suuri. Gripin eduksi on kuitenkin laskettava se, että edellä olevassa laskennassa ei lainkaan suhteutettu eri autojen liukkaushavaintojen tasoa, vaan kaikki havainnot laitettiin ikään kuin samalle viivalle (suhteuttaminen olisi vaatinut enemmän dataa sekä työtä, johon tämän tutkimuksen resurssit eivät riittäneet). **Karkeasti voidaan arvioida, että eri autojen liukkaushavaintojen tasoa suhteuttamalla Grip olisi havainnut noin 4–6 kertaa useammin liukkauden kuin FCD tilanteessa jossa Gripin ja FCD:n liukkaushavaintojen oikeellisuus oli yhtä suuri** (FCD:n alkuperäisessä analyysissä oli vain yksi auto).

## 6 Kuinka moneen ajoneuvoon Grip-järjestelmä tulisi asentaa?

Suunniteltaessa laajempaa Grip-menetelmän käyttöönottoa, eräs keskeisimpiä kysymyksiä on se, kuinka moneen tietyllä alueella operoivaan ajoneuvoon Grip tulisi asentaa, jotta alueen päätiestöltä saataisiin säännöllisesti ja kattavasti ajantasaista kelitietoa. Tätä asiaa ei ole varsinaisesti tässä tutkimuksessa selvitetty. Jonkinlaista kuvaa asiasta saa kuitenkin ns. FCD-kelipilotin yhteydessä tehdystä selvityksestä. Siinä tutkittiin pistokoeluontoisesti päivää 13.3.2013, jolloin liikenteessä oli 82 FCD-menetelmällä varustettua sellaista ajoneuvoa, jotka lähettivät dataa. Näistä suurin osa oli pääkaupunkiseudulla operoivia Lassila-Tikanojan roska-autoja. Kun pääkaupunkiseudulta valittiin neljä satunnaista tieosuutta (kuva 22), havaittiin että klo 6–14 välillä autoja riitti keskimäärin ja melko tasaisesti 2–3 kappaletta jokaista tarkasteltua osuutta ja jokaista puolta tuntia kohden.

Karkeasti voidaan arvioida, että mikäli kattavuutta halutaan jatkaa lähes ympärivuorokautiseksi ja mikäli otetaan huomioon, että osa ajoneuvoista on aina varikolla ja että osa Grip-laitteista epäkuntoisia, tarvitaan tähän kattavuuteen (2–3 ajoneuvoa tietyllä päätieosuudella puolen tunnin sisällä) noin 300–400 asennettua Grip-ajoneuvoa. Tämäkin edellyttää sitä, että Grip-menetelmän asennuksissa on alun perin pyritty optimoimaan se, että ajoneuvojen tyypillisesti käyttämät reitit täydentävät mielekkäällä tavalla toisiaan.

Oma kysymyksensä tietysti on, riittääkö esim. 2–3:n eri auton havaintoa puolen tunnin sisällä esimerkiksi talvihoidon lähtökynnyksen määrittämiseen? Todennäköisesti ei. Mikäli lähtökynnyksen laukaiseva tilanne on maantieteellisesti laajempi ja päätöksentekoon saadaan tukea useamman eri tieosuuden havainnoista, noin 4–6 ajoneuvoa puolen tunnin sisällä riittänee (600–800 asennettua Grip-ajoneuvoa). Mikäli taas keli-muutos koskee vain yhtä tieosuutta, määrä ei riitä. Luotettavan havainnon tekemiseen, kiire huomioon ottaen, tarvitaan silloin todennäköisesti noin 6–8 Grip-ajoneuvoa 10 minuutin sisällä. Tämä edellyttäisi pääkaupunkiseudun pääteiden osalta jo noin 2800–3600 Grip-ajoneuvon joukkoa.



Kuva 22. FCD-kelipilotissa tehdyssä testissä valitut satunnaiset 5 päätieosuutta.

## 7 Yhteenveto, johtopäätökset ja suositukset

### 7.1 Tutkimuksen yhteenveto

VTT on kehittänyt liukkaudentunnistusmenetelmän, jossa ajoneuvon omista tietoväylistä kerätään tietoa vapaasti pyörivien ja vetävien renkaiden pyörimisnopeudesta sekä käytetystä moottoritehosta. Kun matalalla moottoriteholla vetävien renkaiden pyörimisnopeus on merkittävästi suurempi kuin vapaasti pyörivien, on tiellä suurella todennäköisyydellä liukasta. Järjestelmän etuna ovat pienet yksikkökustannukset ja autonomisuus. Ajoneuvon kuljettajan ei tarvitse tietää menetelmästä mitään. Menetelmä on siten periaatteessa helposti monistettavissa ja laajassa ajoneuvojoukossa käytettynä se kykenee keräämään ajantasaista tietoa laajalta tieverkolta.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty tämän ns. Grip-menetelmän toimivuutta sekä liukkaudentunnistuksen tarkkuutta. Tutkimuksen kohteena olivat ympäri Suomea liikkuvissa säiliöautoissa sekä Helsingin seudun busseissa olevat Grip-järjestelmät. Tutkimus toteutettiin siten, että Grip-järjestelmällä varustettujen säiliöautojen tai bussien perässä ajettiin kitkamittarein varustetulla henkilöautolla. Tutkimuksessa vertailtiin Grip-järjestelmän tuottamaa luistosuhdetietoa kitkamittareilla mitattuun kitkaan. Referenssimittareina käytettiin optista kitkamittaria RCM411 sekä kolmea erilaista jarrutuskitkamittaria. Keskeisin vertailumittari oli RCM411, koska se kykeni tuottamaan jatkuvaa kitkatietoa kaikissa olosuhteissa.

Tehdyt vertailumittaukset koostuivat neljästä säiliöautojen Grip-menetelmän testauksesta sekä kolmesta bussien testauksesta. Säiliöautoissa Grip toimi testien aikana kohtuullisen hyvin, sillä seuranta-ajojen aikana saatiin talteen 87 % Grip-datasta. Busseissa järjestelmä vaikutti toimivan selvästi heikommin, sillä testien aikaan Grip-dataa rekisteröityi ainoastaan 38 % ajasta. Lisäksi busseihin asennettu järjestelmä ei sallinut Grip-tiedon reaaliaikaista seurantaa säiliöautojen tavoin. Bussien järjestelmän valintaa ohjasivat sekä aikataulu- että kustannuspaineet ja jälkeensä tarkasteltuna järjestelmän valinta oli epäonnistunut. Tällaisen järjestelmän toimintakuntoon vaikuttavat luonnollisesti erilaiset asiat, mutta realistisena tavoitteena voidaan pitää noin 90 prosentin toimitusvarmuutta (järjestelmä tuottaa noin 90% ajasta dataa). Tällä hetkellä järjestelmä ei tallenna keräämäänsä dataa autossa, joten matkapuhelinverkon häiriöt johtavat välittömästi datan menettämiseen. Muistin lisääminen ajoneuvoyksiköihin takaisi sen, etteivät matkapuhelinverkon häiriöt lamauttaisi järjestelmää.

Vertailtaessa Grip-menetelmän tuottamaa tietoa optisella kitkamittarilla tuotettuun tietoon saatettiin selvästi havaita, että suurimmat Grip-menetelmän luistosuhteet syntyivät alhaisimmilla optisen kitkamittarin kitkoilla. Tämä vastasi hyvin teoriaa, sillä luistosuhteen oli määrä kasvaa juuri liukkaimmilla keleillä.

Pitävän kelin luistosuhdearvoja tutkittiin paitsi kahdessa varsinaisessa testissä, myös erikseen kesäpäivien Grip-dataa analysoimalla. Pitävällä kelillä syntyi myös luistosuhteita, kuitenkin niin, että niiden huippuarvot olivat selvästi matalampia kuin talvikeleillä. Lisäksi luistosuhteiden jakauma talvi- ja kesäkelillä oli selvästi erilainen. Tämän vuoksi kannattaa miettiä, pitäisikö Gripin liukkauskaskentaa liittää luistosuhderajan lisäksi myös luistosuhdejakaumaa tarkasteleva algoritmi.

Yhteenvedona vertailusta voidaan todeta, että Grip-menetelmä tuotti korkeampia luistosuhteita vain liukkaissa olosuhteissa, mutta toisaalta Grip-menetelmä ei aina tuottanut luistosuhdehavaintoja liukkailla keleillä. Tämä liittyy suurelta osin menetelmän toimintaperiaatteeseen. Luistosuhdehavaintoja syntyy ainoastaan silloin kun ajoneuvossa on ns. "veto päällä", eikä havaintoja synny siten lainkaan alamäessä tai nopeutta laskettaessa.

Tutkimuksessa myös tarkasteltiin Grip-ajoneuvoja seuranneen henkilöauton tallentaman videon perusteella pistokokein tilanteita, joissa luistosuhdehavaintoja syntyi. Havainnot syntyivät tyypillisesti loivassa ylämäessä tai tasaisella. Havaintoja ei juurikaan tuntunut syntyvän risteyksissä tai bussipysäkeillä, mihin vaikutti todennäköisesti Grip-menetelmään syötetty nopeusehto. Nopeusehdon mukaan ns. etuakselinopeuden tuli säiliöautoissa olla vähintään 40 km/h ja busseissa 20 km/h, ennen kuin luistosuhdehavaintoja ryhdyttiin tuottamaan. Busseissa käytettiin matalampaa nopeusehtoa, koska bussien nopeudet eivät pääkaupunkiseudun liikenteessä kovin usein yli 40 km/h nouse. Tehty selvitys ei antanut viitteitä siitä, että bussien matalampi nopeusehto olisi merkittävästi heikentänyt luistosuhdehavaintojen laatua.

Tutkimuksessa syntyi joitakin viitteitä siitä, että irtonaisissa keliolosuhteissa, kuten irtolumella tai sohjossa Grip-menetelmä vaikutti tuottavan hieman odotuksia matalampia luistosuhdehavaintoja. Tämä saattaa liittyä henkilöautoliikenteen ja raskaan liikenteen eroihin. Esimerkiksi ohut sohjokerros saattaa olla henkilöautoliikenteelle säiliöautoa tai bussia haastavampi olosuhde. Siten sadetieto on todennäköisesti varsin merkittävä tieto tulkittaessa Gripin tuottamaa tietoa.

Liikennevirasto testasi vuosina 2013-2015 FCD-kelipilotina tunnettua järjestelmää, jossa selvitettiin ajoneuvon vakaudenhallintajärjestelmän kykyä liukkaudentunnistukseen. Järjestelmän laatua arvioitiin menetelmällä, jossa testireitti jaettiin 100 metrin osuuksiin. Kukin 100 metriä arvioitiin joko liukkaaksi tai pitäväksi niin tutkimuksen kohteena olevalla menetelmällä kuin referenssimenetelmällä. Grip-menetelmässä testitulokseen vaikutti suuresti se, mille luistosuhdehavaintotasolle tämä ns. liukkauden raja asetettiin. Mikäli raja asetettiin havainnon luotettavuuden osalta samalle tasolle kuin FCD-kelipilotissa (90 % Gripin tai FCD:n liukkaushavainnoista liittyi myös referenssimenetelmän näkökulmasta liukkauteen), Grip-menetelmä tunnisti referenssimenetelmällä havaitun liukkauden 2–3 kertaa useammin kuin FCD-menetelmä. Tehdyssä analyysissä ei kuitenkaan lainkaan kalibroitu eri Grip-ajoneuvojen havaintojen tasoa, kun taas FCD:ssä analyysi koski vain yhtä ajoneuvoa. Todennäköisesti Grip-ajoneuvojen havaintojen tasoa kalibroimalla Grip olisi havainnut liukkauden 4–6 kertaa useammin kuin FCD-menetelmä.

## 7.2 Grip-menetelmä käyttö Helsingin kaupungin alueen talvihoidossa

Grip-menetelmällä tuotetun tiedon laatu paranee todennäköisesti sitä enemmän, mitä enemmän tietyllä alueella liikkuu Grip-menetelmällä varustettuja ajoneuvoja. Tämän vuoksi menetelmä soveltuu talvihoidon tueksi erityisesti alueilla, joissa on runsaammin raskasta liikennettä, kuten esimerkiksi Helsingin keskustan ympäristössä. On hyvin mahdollista, että ajoneuvon ominaisuudet kuten rengastus vaikuttavat Grip-järjestelmän tuloksiin, eikä yksittäisen ajoneuvon tuottaman luistosuhdehavainnon tarkkuus



siten yllä referenssikitkamittarien (jarrutuskitkamittarit ja optinen kitkamittari) tarkkuuteen. Grip-menetelmän luotettavuus kuitenkin paranee oleellisesti, kun käytettävissä on useampia Grip-ajoneuvoja samalla alueella. Mikäli useampi ajoneuvo tuottaa tietyllä alueella korkeita luistosuhteita, on painava syy epäillä liukkautta. Lisäksi järjestelmästä voidaan rakentaa itse oppiva, jolloin jatkuvasti muita korkeampia luistosuhteita tuottavan ajoneuvon tuloksia voidaan ryhtyä suodattamaan. Lisäksi on muistettava, että vaikka Grip-menetelmä ei tuota luistosuhdetietoja alamäessä, samaa tietä vastakkaiseen suuntaan ajava toinen Grip-ajoneuvo mittaa kyseisen alamäen, joskin eri kaistalla.

Tehdyissä testeissä todettiin, että luistosuhdehavainnot lisääntyivät, kun optisen mittarin kitka laski arvoon 0,45, tai sen alle. Tämä 0,45 vastaa suunnilleen jarrutuskitkaa 0,35 Liikenneviraston asteikolla, mikä on taas viisi sadasosaa yli Liikenneviraston korkeimman hoitoluokan (Is, esim. moottoritiet) kitkarajan.

Tehdyn tutkimuksen valossa näyttäisi siltä, että mikäli käytettävissä on useamman ajoneuvon muodostama Grip-ajoneuvojoukko, järjestelmä voisi toimia ns. lähtökynnyksen (liukkauden alkuhetken) arvioinnin tukena. Lisäksi tilanteissa missä talvihoidon vaikutus liukkauteen on merkittävä, saattaisi Grip kyetä joissain tapauksissa näkemään urakoitsijan toiminnan vaikutuksen. Valitettavasti talven testeistä yksikään ei yrityksistä huolimatta osunut sellaiseen kelinmuutostilanteeseen, jossa lähtökynnyksen arviointia olisi voitu hyvin simuloida. Edelleen on kuitenkin syytä muistaa, että itse urakoitsijoiden toimintaa ohjaavat etupäässä sääennusteet, eivätkä kitkalukemat. Esimerkiksi Liikenneviraston alaisilla vilkkailla maanteilla urakoitsijat pyrkivät lähtemään 3–4 tuntia ennen ennustettua liukkautta liikenteeseen. Kitkalukemat voivat kuitenkin tuoda lisätietoa esim. uudelleen suolauksen tarpeesta.

Kuluneen talven aikana tehtyjä bussitestejä varjosti voimakkaasti Grip-järjestelmän huono toimivuus Helsingin seudun busseissa. Tämän vuoksi testit bussien kanssa jäivät jonkin verran tavoitetta pienemmiksi ja esimerkiksi lähellä nollaa astetta olevia pitäviä kelejä ei aineistoon juuri päässyt niissä tehdyistä testeistä huolimatta. Siten suositellaan, että bussien käyttöä Helsingin talvihoidon ohjauksessa testataan paremmilla Grip-yksiköillä noin 100–200 auton joukolla siten, että talvihoidon ohjauksesta vastaavilla on käytössään yksinkertainen ja helppokäyttöinen käyttöliittymä havaintojen reaaliaikaiseen seuraamiseen.

Tutkimuksessa on arvioitu, että pääkaupunkiseudulla tarvittaisiin pääteiden osalta vähintään noin 600 Grip-ajoneuvon joukko karkeaan talvihoidon lähtökynnyksen arviointiin. Mikäli lähtökynnyksen ylittymistä haluttaisiin arvioida tietyn yksittäisen tienkohdan perusteella, tarvitaan reilusti yli 2000 ajoneuvon joukko.

Gripin käyttö lähtökynnyksen arvioinnissa on luonnollisesti sillä tavalla suuntaa antavaa, että on vaikea kuvitella, että Grippiä voitaisiin tässä käyttää yksittäisen sanktion perusteena. Se voi kuitenkin hyvin toimia yleisluontoisena urakoitsijan toiminnan arviointivälineenä.

Helsingin kaupunkia on myös kiinnostanut mahdollisuus käyttää Grip-menetelmää hyvin paikallisten liukkauksien (bussipysäkit, suojatiet) havainnoinnissa. Tämän raportin testeissä käytettiin busseissa 20 km/h nopeusehtoa (järjestelmä ei tuottanut liukkaushavaintoja alemmista nopeuksista), mikä on rajannut bussipysäkit aineiston ulkopuolelle. Testien jälkeen VTT on kuitenkin arvioinut, ettei nopeusehdon käyttäminen olisi

busseissa jatkossa ehkä välttämätöntä. Tämä saattaa tuoda uusia mahdollisuuksia pysäkkien liukkauden arviointiin Gripin avulla. Yksittäisen suojatien liukkauden arviointia vaikeuttaa sekä GPS:n kohdistuksen tarkkuus, että näytteenottotaajuus. Lisäksi luistosuhteen periaatteeseen kuuluu, että sekä vetävät että vapaasti pyörivät renkaat ovat tutkittavalla pinnalla. Suojatien liukkauden tunnistaminen vaikuttaa siten olevan Grip-menetelmän avulla varsin haasteellista.

## 7.3 Grip-järjestelmän käyttö talvihoidon palvelutason seurannassa

Tehdyn tutkimuksen perusteella Grip-järjestelmää voidaan todennäköisesti käyttää talvihoidon laadunvalvonnan tukena osoittamaan tieosuuksia, missä kitkatasot voivat olla laatuvaatimuksia alhaisempia. Grip-järjestelmän tarkkuus ei kuitenkaan riitä siihen, että yksinomaan menetelmän tuottaman tiedon perusteella voitaisiin sanktioida laadun alituksia.

Sen sijaan saattaa olla mahdollista, että Grip-järjestelmä voisi soveltua talvihoidon palvelutason seurantaan. Menetelmä on todennäköisesti tarkempi ja kattavampi kuin esimerkiksi Pirkanmaalla käytössä oleva paikallinen kokeilu, jossa paljon ajavat tienkäyttäjät antavat palautetta kelistä erityisten ajoneuvopäätteiden avulla (Malmivuo 2010).

Liikennevirasto tilasi 1990-luvulta alkaen aina talvikauteen 2010–11 asti tiestömittausyrittäjä "Talla-mittauksia", eli ns. keskitettyä talvihoidon laadunseuranta. Käytännössä tämä tarkoitti, että jarrutuskitkamittarilla varustetulla henkilöautolla ajettiin säännöllisesti tiettyjä reittejä ennalta sovitun aikataulun mukaisesti ja tasaisesti havaintoja tehden. Aineiston perusteella kyettiin arvioimaan tiestön palvelutasoa eri tiepiireissä ja eri hoitoluokissa. Myös urakka-alueiden vertailu oli karkealla tasolla mahdollista.

Kun Carent Oy hoiti talvella 2010–2011 koko valtakunnan Tallaa, mittaukset koostuivat käytännössä 29 reitistä, joiden keskipituus oli noin 400–500 kilometriä. Reittien yhteispituus oli noin 15 000 km, kokonaiskilometrien ollessa noin 250 000 km talvikaudessa. Kukin reitti ajettiin läpi keskimäärin kerran viikossa. Jokaisella reitillä tehtiin kerran kuukaudessa mittauskierros viikonloppuna (Malmivuo 2013). Vaikka mittauksen avulla saatiin arvokasta tietoa teiden palvelutasosta, Liikennevirasto lopulta katsoi, ettei mittauksen hyöty vastaa niiden kustannusta. Liikennevirasto on kuitenkin todennut, ettei tarve palvelutason seurantaan ole lakannut. Palvelutason mittaamiseen tarvitaan vain hyöty/kustannukseltaan edullisempi menetelmä.

Kuinka suuri Grip-ajoneuvojen joukko tarvittaisiin, jotta pystyttäisiin saamaan edellä kuvatusta 15 000 kilometrin reitistä riittävän tarkka kuva kerran viikossa? Tämän tutkimuksen luvussa 6 laskettiin, että pääkaupunkiseudun noin 250 kilometrin mittaiselta päätieverkolta saataisiin noin 600–800 ajoneuvolla 4–6 eri ajoneuvosta tulevaa havaintoa puolen tunnin välein, mikäli Grip-ajoneuvot on valittu järkevästi. Mikäli Tallassa edellytettäisiin esim. 8–12 Grip-ajoneuvon havaintoa viikon välein, tähän riittäisi tällä pääkaupunkiseudun esimerkillä vain 150 ajoneuvoa. Määrä tuntuu pieneltä, mutta tällainen hyötyajoneuvomäärä ajaa Talla-kaudessa yli 10 miljoonaa kilometriä (vrt. Tallan 250 000 km:n kokonaissuorite). Luvussa 2 laskettiin, että 1 000 Grip-ajoneuvon joukko maksaisi 7 kuukauden osalta 350 000 € talvikaudessa, joten Tallaa karkeasti

vastaava ajoneuvoyoukko maksaisi 50 000 € talvikaudessa (lyhyempi kausi ja vähemmän ajoneuvoja). Tämä on merkittävästi perinteisen Tallan kustannuksia alhaisempi summa. Toki koko maata kattavan Grip-ajoneuvoyoukon luominen ja hallinnointi oli varmasti osaltaan merkittävä kustannus, joka ei vielä sisälly edellä mainittuun kustannusarvioon. Nämä arviot ovat luonnollisesti hyvin karkeita, mutta osoittavat, että Grip voisi mahdollisesti tarjota kustannustehokkaan vaihtoehdon Talla-mittauksille.

## 7.4 Johtopäätökset ja suositukset

Yhteenvedona voidaan todeta, että tehtyjen testien perusteella Grip-menetelmää voidaan pitää potentiaalisena menetelmänä karkeaan liukkauden tunnistukseen. Nyt talvikaudella tehdyt testit olivat siinä määrin suppeita, ettei niiden perusteella voida antaa takuuta siitä, että Grip toimii kaikissa olosuhteissa ja kaikenlaisissa autoissa. On kuitenkin oletettavaa, että Grip näyttäisi parhaiten voimansa jäisillä keleillä. Valitettavasti tällaisia kelejä ei tehtyihin testeihin osunut.

Vaikuttaa kuitenkin siltä, että nyt olisi luontevaa käynnistää yksi tai useampi paikallinen pilotti, jossa otettaisiin mukaan Grip-tiedon loppukäyttäjii (urakoitsijat, talvihoivon valvonta, valitut tienkäyttäjät) ja kerättäisiin näiden loppukäyttäjien näkemyksiä menetelmästä. Järjestelmää tilatessa hinnoittelun kannattaisi pohjautua tuotettuun datamäärään eikä esim. vain asennettujen autojen lukumäärään. Tällöin järjestelmän toimittajalla on motivaatio pitää järjestelmää jatkuvasti toimintakykyisenä.

Edelleen kannattaisi jatkaa rereferenssimittauksia otollisissa olosuhteissa. Lisäksi kannattaisi jatkuvasti pyrkiä luomaan ja kehittämään tapoja ja menetelmiä Grip-tiedon tulkitsemiseen, analysoimiseen ja hyväksikäyttöön.

Gripin osalta mainittakoon lisäksi vielä seuraavat kehitysajatukset harkittavaksi:

- lukuyksikköön lisää muistia, joka mahdollistaa tiedon tallentumisen myös silloin kun matkapuhelinverkoissa on häiriöitä
- luistosuhdejakaumien hyväksikäyttö liukkaudentunnistuksessa
- myös muiden ajoneuvossa olevien tietojen kerääminen samalla lukulaitteella, esim. tuulilasinyyhkijöiden ja lasinpesun aktivoituminen (sade ja kura).

Lisäksi kannattaa miettiä, voiko ns. "pöperökelin" vaikutusta tuloksiin suodattaa. Koska tulosten mukaan vaikutti siltä, että suuremmat kerrospaksuudet (lumi, sohjo) jopa jossain määrin saattoivat vastustaa luistoa, tämä ilmiö olisi hyvä ottaa tuloksiin mukaan (esim. juuri pyyhkijän aktiivisuuden kautta).

## Lähteet

Malmivuo, Mikko 2010: paljon ajavien tienkäyttäjien hyödyntäminen kelinseurannassa. Vaikuttavuusselvitys. liikenneviraston sisäinen selvitys. 26 sivua ja 1 liite.

Malmivuo, Mikko 2013: Optisten kitka- ja lämpömittarien vertailututkimus 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/ 2013. 42 s.

Malmivuo, Mikko 2013: Talviliikenteen palvelutason seurantamenettelyn kehittäminen. Liikenneviraston sisäinen raportti. 45 sivua + 1 liite.

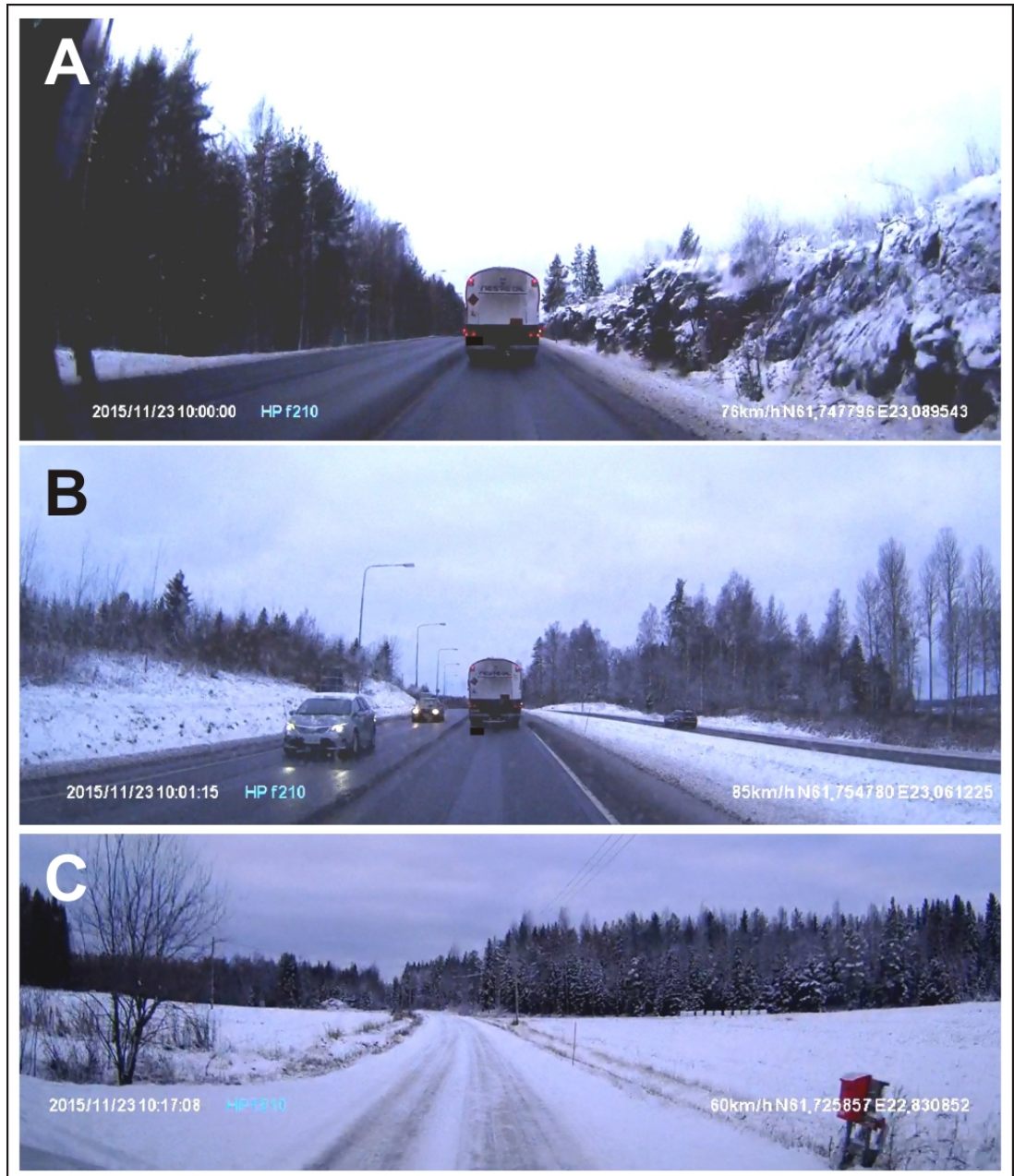
Malmivuo, Mikko 2015: FCD-kelipilotti (FCD Road Weather pilot). Liikkuvan kelinseurantajärjestelmän kokeilu - loppuraportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2015.38 sivua ja 1 liite.

Malmivuo, Mikko; Luoma, Juha 2016: Rengastyypin vaikutukset lumi- ja jääpolanteen liukkauteen ja kulumiseen. VTT Technology 244. 48 s. + liitt. 7 s.

Varanka M. 2008: Automatic road slipperiness detection of heavy duty vehicles. The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2008).

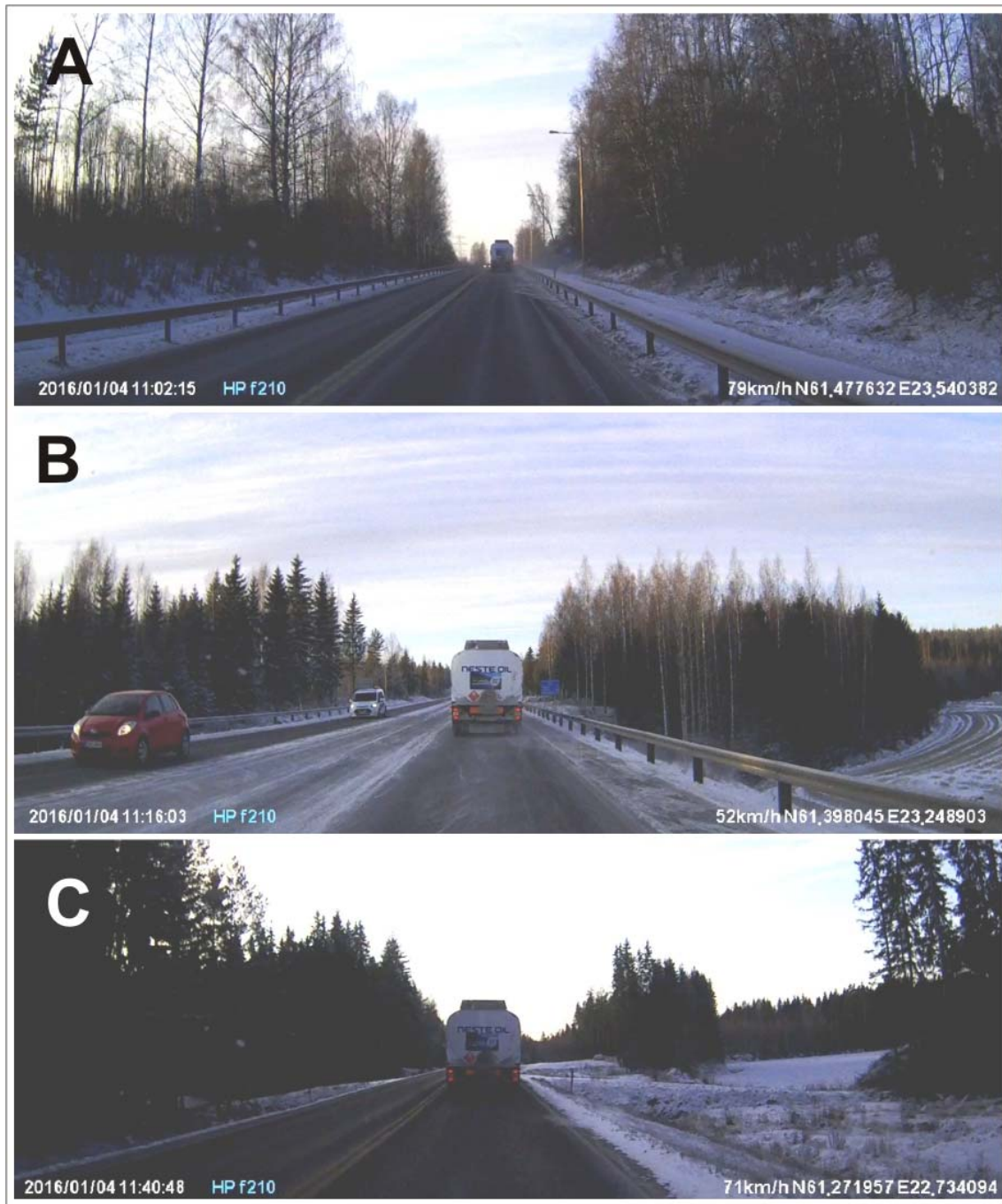
## Kuvia tehdyistä seurannoista

## Figures from the tests



Kuva 1. Kuvia Säiliöauto 1:n seurannasta 23.11.2015.

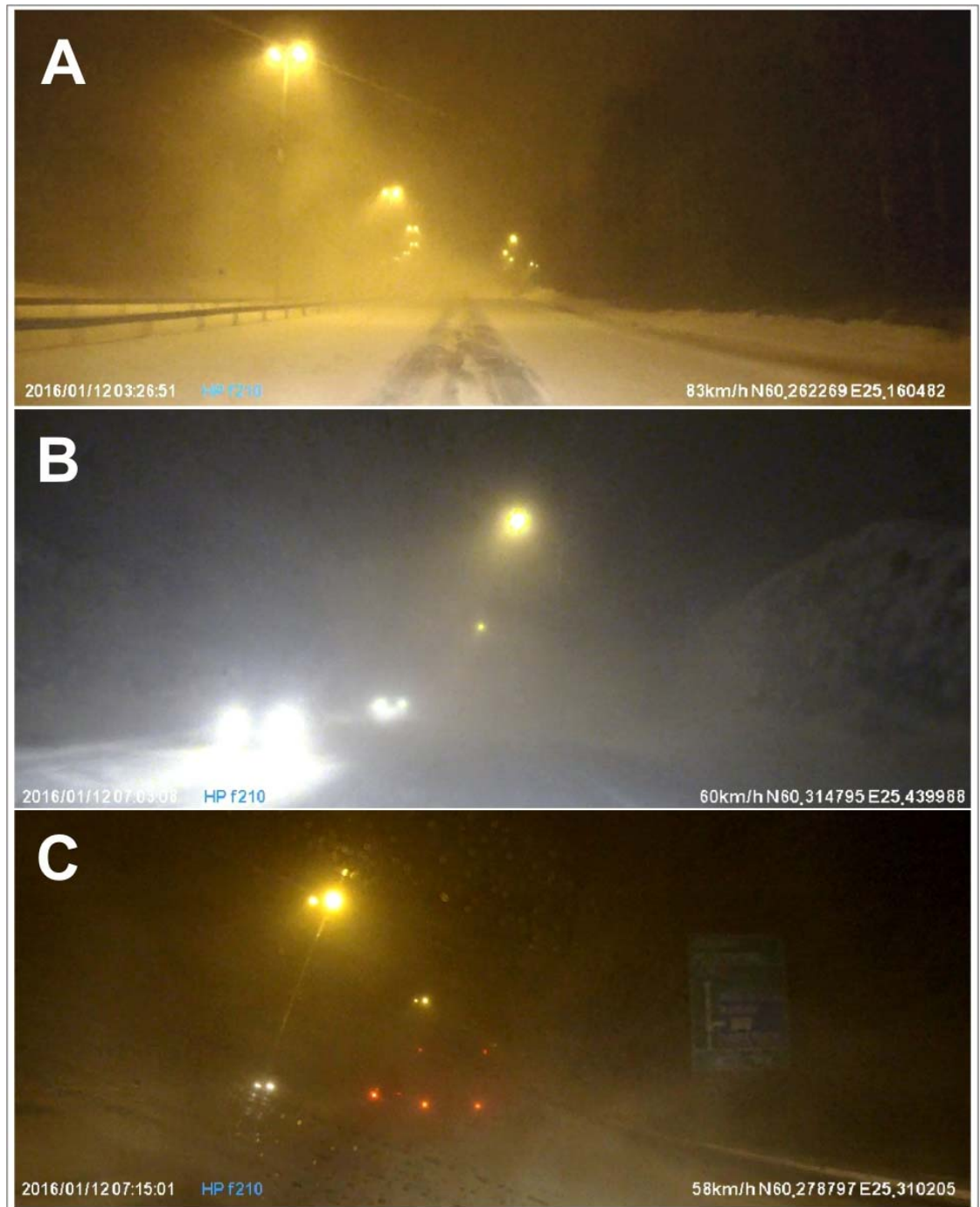
Figure 1. Pictures from Tank truck 1 test 23.11.2015.



Kuva 2. Kuvia Säiliöauto 1:n seurannasta 4.1.2016.

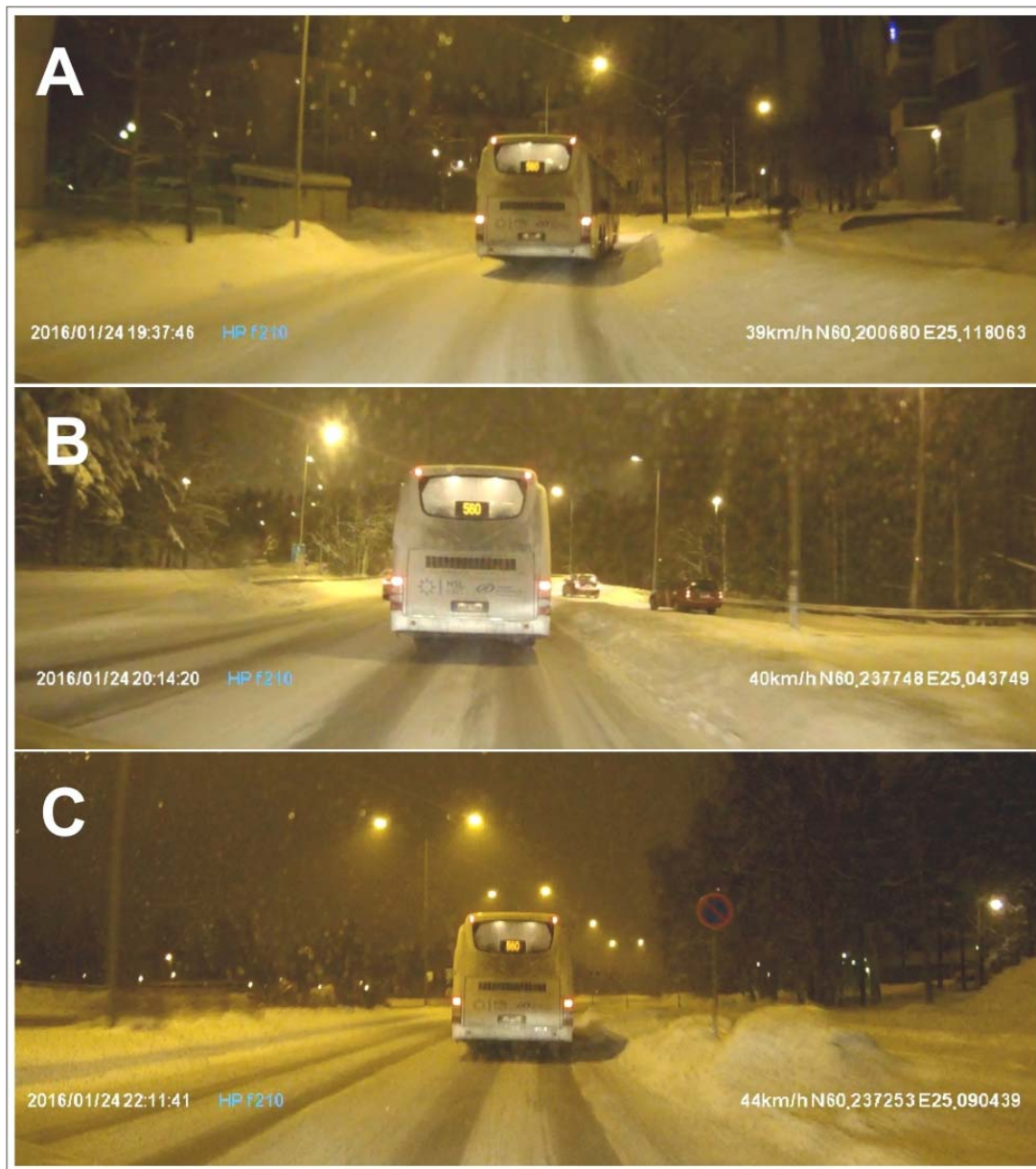
Figure 2. Pictures from Tank truck 1 test 4.1.2016.





Kuva 3. Kuvia Säiliöauto 2:n seurannasta 12.1.2016.

Figure 3. Pictures from Tank truck 2 test 12.1.2016.



Kuva 4. Kuvia Bussi 1:n seurannasta 24.1.2016.

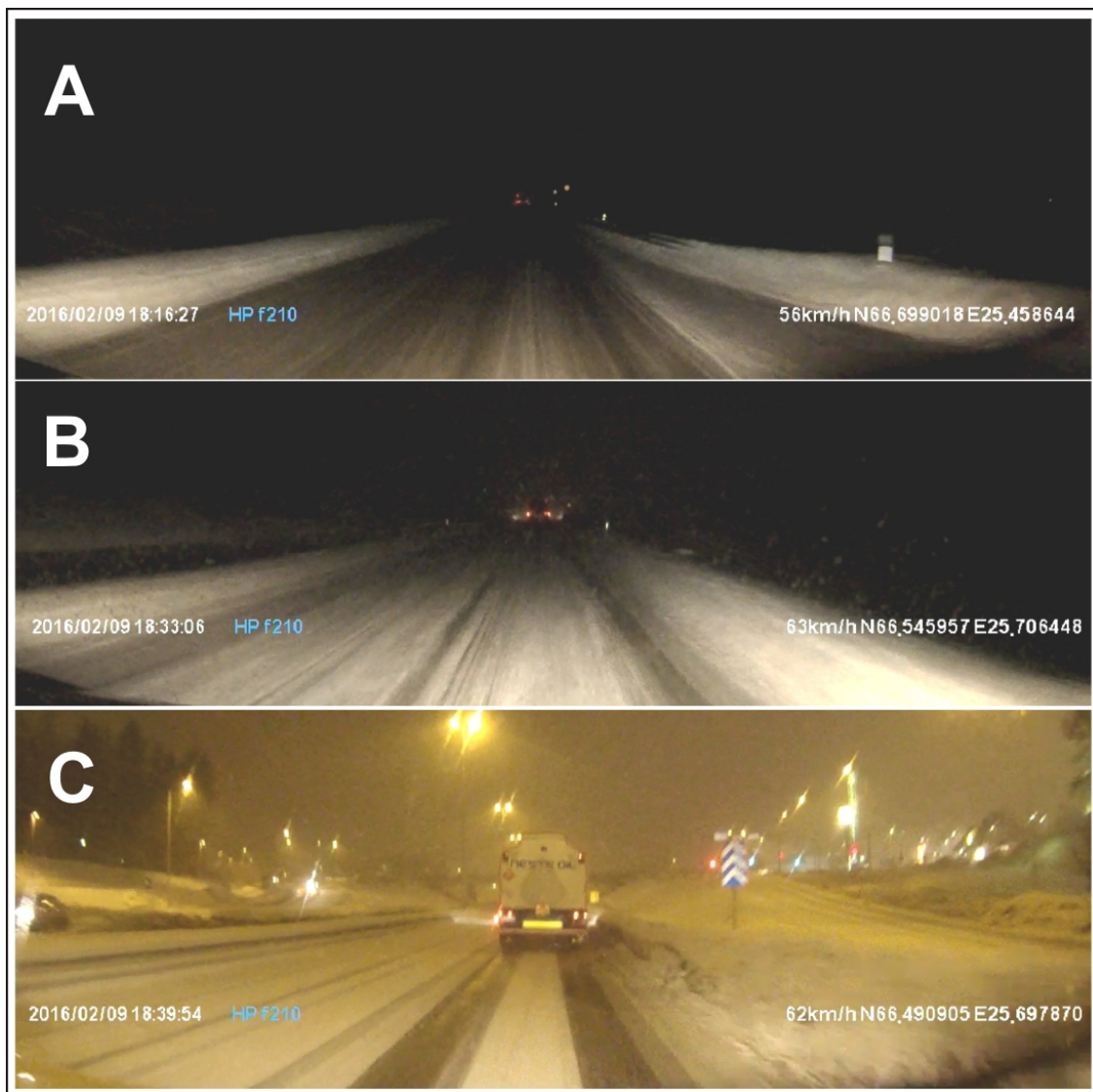
Figure 4. Pictures from Bus 1 test 24.1.2016.





Kuva 5. Kuvia Bussi 3:n seurannasta 3.2.2016.

Figure 5. Pictures from Bus 3 test 3.2.2016.



Kuva 6. Kuvia Säiliöauto 3:n seurannasta 9.2.2016.

Figure 6. Pictures from Tank truck 3 test 9.2.2016.

Pitkä englanninkielinen tiivistelmä  
Long abstract in English

# Testing a slipperiness detection system which utilizes vehicle data bus information

## 1 Background and objectives

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd has developed a slipperiness detection system called the "Grip". This system utilizes the data already available in the vehicles. The system needs information about the free rolling wheel speed, driving wheel speed and engine power. When the driving wheel speed is significantly higher than the free rolling speed, the driving wheel is slipping. When this slipping occurs at a moderate engine power level, it is quite obvious that the road is slippery.

The Grip system usually requires installing of a small electric device in the vehicle. This device reads the vehicle data bus and transmits the information, including time and GPS information, to the system server. In certain modern vehicles, where CAN bus readers and GPS are already installed, this system may even operate with a single software update. However, in this study, an extra electric device was installed in all Grip vehicles.

In theory, the Grip system is maintenance free, because there are no wearing parts. The system is economic, since it does not need any actions by the driver and there is no need to pay the driver to operate the system. The installation unit costs are also reasonably low.

This project was funded by the Helsinki City Public Works Department, the Finnish Transport Agency and the Finnish Transport Safety Agency. All the funders were interested in the method accuracy. Their special needs were slightly different:

- The Public Works Department of Helsinki City needs a method for assessing the quality and success of winter maintenance. The Finnish Transport Agency uses braking friction meters for assessing the quality of winter maintenance, but these types of meters are not suitable for the high-volume streets of Helsinki.
- The Finnish Transport Agency (FTA) does not expect Grip to have enough accuracy to meet the Agency's strict winter maintenance quality requirements. However, the FTA wants to find a cost-effective way to measure the overall service level of winter maintenance. The FTA finds that Grip is a potential method for gathering information for operations regarding variable speed limits and warning signs.
- The Finnish Transport Safety Agency, Trafi, wants to promote traffic safety and environmental friendliness. Trafi realizes that, in the future, automated driving is not possible without technology enabling reliable assessments of the road surface condition.

The main objective of this study was to analyze the accuracy and functionality of the Grip method. The accuracy was analyzed by:

- comparing the Grip results with the reference friction measurements. The reference data was gathered by driving the friction meter car behind the Grip vehicle.
- comparing two Grip vehicles driving the same road section one after the other.

## 2 The reference measurements

The reference measurements were made using a car equipped with the following devices:

- Optical friction meter RCM411. The optical friction meter assesses the friction on the basis of the light reflection from the road surface. Although the optical meter is not considered to be as accurate as braking friction meters, the optical meter provides continuous and reasonably accurate friction results under all kinds of conditions. Therefore, RCM411 was the main reference meter.
- Three different braking friction meters. The models used were C-trip, Gripman and  $\mu$ TEC. These meters measure the deceleration during braking and calculate the friction on the basis of the vehicle deceleration. The spot measurements of these devices were used to verify the friction levels of the optical meter. Three different braking meters were used since, as revealed in earlier studies, the friction readings were most reliable in those cases, where different braking friction meters provided similar results.
- Video camera. The onboard video camera was shooting continuously and it also recorded the GPS signals. Therefore, it was possible to easily visualize the locations of significant Grip method measurements.

Due to certain historical reasons, these meters use different friction scales. In this study, the optical meter RCM411 used the so-called "physical friction scale" (scale based on a mathematical formula between friction and braking distance). On the other hand, all the braking friction meters used the so-called "FTA friction scale" (the scale used for the Finnish Transport Agency's winter maintenance quality requirements). The difference between these scales, and difference between the scales and braking distance, has been described in Figure 1.

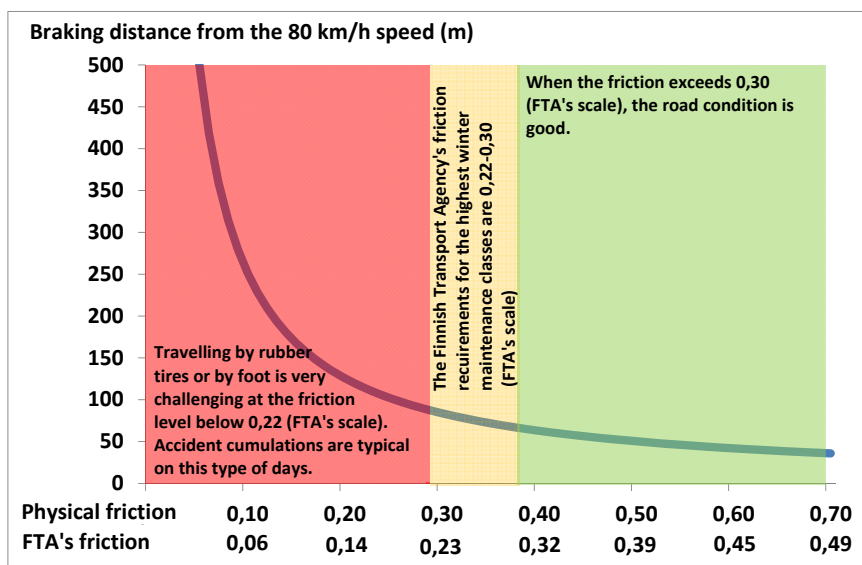
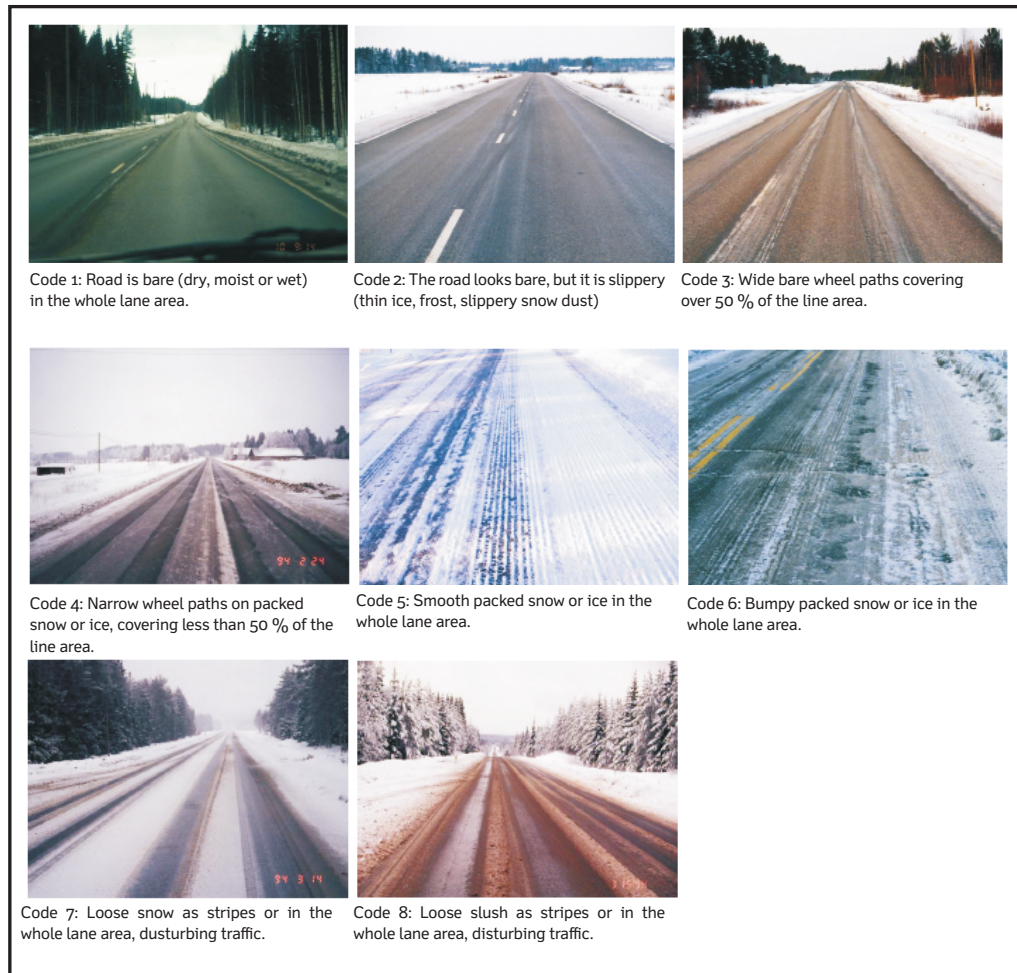


Figure 1. Comparison of physical friction scale and FTA's friction scale.



The person driving the vehicle with reference meters was also making a road condition classification based on his visual observations. The road conditions have been divided into 8 road condition classes, so called "codes". These codes have been used earlier in Finland with winter maintenance service level measurements and the driver had vast previous experience from using this classification. These road condition codes are described in figure 2.



*Figure 2. Road condition codes used in this study. The classification was based on sensory (mainly visual) observations.*

In this study, the Grip method was installed in about 10 tank trucks and 20 buses. These tank trucks operated in an extensive area in different parts of Finland. The buses only operated in the Helsinki area. Every successful test was executed using the following steps:

1. Based on continuous monitoring of weather forecasts, there was a prevailing risk of slippery road conditions in certain areas at a certain time.
2. A short discussion revealed that the company making reference measurements was available for the test.
3. A discussion with the bus company or tank truck company revealed that there was a Grip vehicle operating in the area with the possible slippery road condition.
4. The test time and the target vehicle were announced to VTT. VTT checked that the target vehicle Grip had operated smoothly in the previous days. VTT was also prepared to check the Grip functionality on tank trucks during the test. However, due to different Grip configuration, it was not possible to check Bus Grip during the test (no real-time data access).

5. During the discussion with the tank truck or bus company, the best time for the reference measurements car to join the trip was agreed upon.
6. The test execution
7. The executed tests have been listed in Table 1. Tests 4 and 5 included two target buses with Grip. Those buses drove the same route one after the other. The reference measurement car drove behind the latter bus.

According to Tables 1 and 2, the Grip malfunctions in buses seriously hampered the bus tests. The Grip device was different in the buses and was clearly the wrong choice with reference to the strict timetable and budget. Since it was not possible to obtain real-time Grip data from the buses, the data absence was revealed only after the tests.

*Table 1. Executed tests*

Number	Date	Time	Reference measurements (km)	Grip (km)	Target	Conditions	Location	Comment
1	23.11.2015	06:25 - 10:30	108,5	37,0	Tank truck 1	Bare main road in the beginning, small road with packed snow in the end, -3°C	Tampere region	Starting problems with Grip, only 30 minutes of Grip data saved
2	4.1.2016	07:00 - 12:00	143,0	143,0	Tank truck 1	Relative bare road, no rain, snow dust, -15°C	Tampere region	Tank truck got broken and minor service was needed, fewer test kilometers than expected
3	12.1.2016	03:20 - 11:45	119,2	119,2	Tank truck 2	Snow storm, -5°C	Helsinki-Porvoo	Problems with tank truck fill up, fewer test kilometers than expected
4	24.1.2016	16:23 - 23:33	165,9	165,9 + 82,5	Bus 1 and Bus 2	Snow fall, -1°C	Helsinki, line 560	The Grip of Bus 2 operated less than half of the time
5	3.2.2016	19:29 - 23:38	108,2	8,5 + 0,0	Bus 3 and Bus 4	Thin frost layer, light snow fall, -2°C	Helsinki, line 550	Grip of Bus 3 operated only 15 minutes and Grip of Bus 4 not at all
6	9.2.2016	05:00 - 18:41	471,0	435,0	Tank truck 4	Changing road weather, wet snow fall, 0°C	Kemi - Kittilä - Sirkka (Lapland)	RCM411 broke down just before the test
7	9.3.2016	20:37 - 01:42	133,9	0,0	Bus 5	Bare and non-slippery road, + 1°C	Helsinki, line 550	Bus 5 Grip inoperative

*Table 2. The comparison between assumed and saved (actual) Grip data (the assumed Grip-data kilometers were compared twice to the reference kilometers in Table 1, when two Grip buses were tested at the same time)*

	Assumed amount of Grip data (km)	Saved Grip data (km)	Share
<b>Tunk truck</b>	841,7	734,2	<b>87 %</b>
<b>Bus</b>	682,1	256,9	<b>38 %</b>
<b>All together</b>	<b>1523,8</b>	<b>991,1</b>	<b>65 %</b>

## 3 The results

### 3.1 All test slip ratios compared to RCM411 friction

All the test slip ratios measured by Grip have been compared to the RCM411 results in Figure 3. In the tests, where the saving frequency of Grip was 5 seconds, the slip ratios have been compared to the corresponding 5 second minimum of RCM411. Accordingly, if the saving frequency of Grip was 1 second, the slip ratios have been compared to the corresponding 1 second minimum of RCM411. The results have been paired on the basis of GPS coordinates.

The friction of RCM411 is so-called physical friction. In theory, slip ratio should have the highest values in the most slippery conditions. According to Figure 3, the slip ratios behaved logically except in the first test with Tank truck 1, when there are quite high slip ratios in locations, where RCM411 provides high friction.

When VTT developed Grip, they did not have such reference measurements as gathered in this study. Therefore, the reference data gathered in the first test was given to VTT immediately after the first test. VTT specified the Grip algorithm on the basis of the results of the first day. This new algorithm was used in all later tests. Therefore, in Figure 3, the first slip ratio test results ("Tank truck 1A") have been calculated using the old algorithm and the other test results using the new algorithm. VTT has calculated all the slip ratio results in Figure 3 without knowing the reference results (RCM411).

Figure 4 is similar to Figure 3, but the results of the first test have been recalculated using the new algorithm. However, in Figure 4, VTT has calculated the results of the first test day in a situation where VTT has known the reference results. Because the change in these results of the first day is still quite moderate, the results can be considered reasonably reliable.

All the slip ratios over 0.15 have occurred in situations, where the RCM411 friction is 0.40 or lower. The friction 0.40 equals 0.30 in the FTA scale, which is the friction demand of the highest winter maintenance class Is (used, for example, on motorways). On the other hand, there are a lot of situations showing low friction, when the slip ratio is 0 (no slip). This is probably the result of the method: slip is only possible when there is motor drive. It is not possible to measure slip ratio in a free rolling situation.

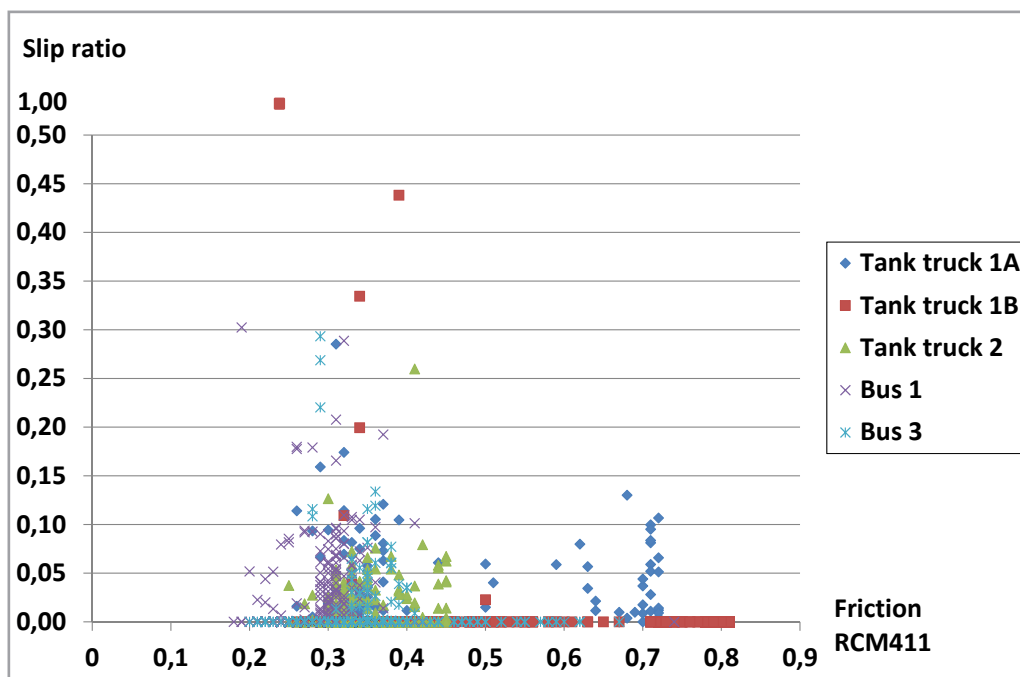


Figure 3. Slip ratio (measured by Grip) compared to RCM411 friction. The five different tests have been described with different markings: the first test with Tank truck 1 ("Tank truck 1A"), the second test with Tank truck 1 ("Tank truck 1B"), test with Tank truck 2 ("Tank truck 2"), test with Bus 1 ("Bus 1") and test with Bus 3 ("Bus 3").

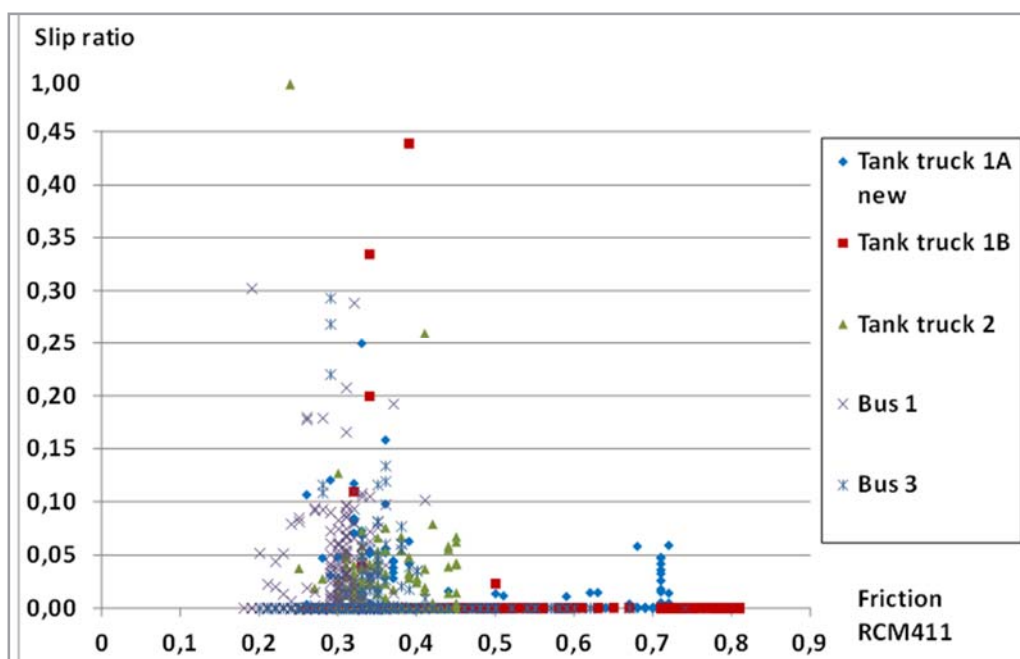


Figure 4. Slip ratio (measured by Grip) compared to RCM411 friction. The five different tests have been described with different markings: the first test with Tank truck 1 with new algorithm ("Tank truck 1A new"), the second test with Tank truck 1 ("Tank truck 1B"), test with Tank truck 2 ("Tank truck 2"), test with Bus 1 ("Bus 1") and test with Bus 3 ("Bus 3").



The figure 5 represents a model between slip ratio and RCM411 physical friction. The blue small squares in the figure are exactly like the observations in figure 3. This model is needed in the chapter 3.2, where the individual test days have been analyzed. Without the model, it would be difficult to compare slip ratio and friction, because the slip ratio is opposite to friction: slip ratio increases at reduced friction. The "Grip friction" used in chapter 3.2 is a slip ratio converted to friction according to Figure 5.

The model assumes that the lowest possible Grip friction is 0,09 and the highest possible Grip friction is 0,71. The model is based just on a visual fitting.

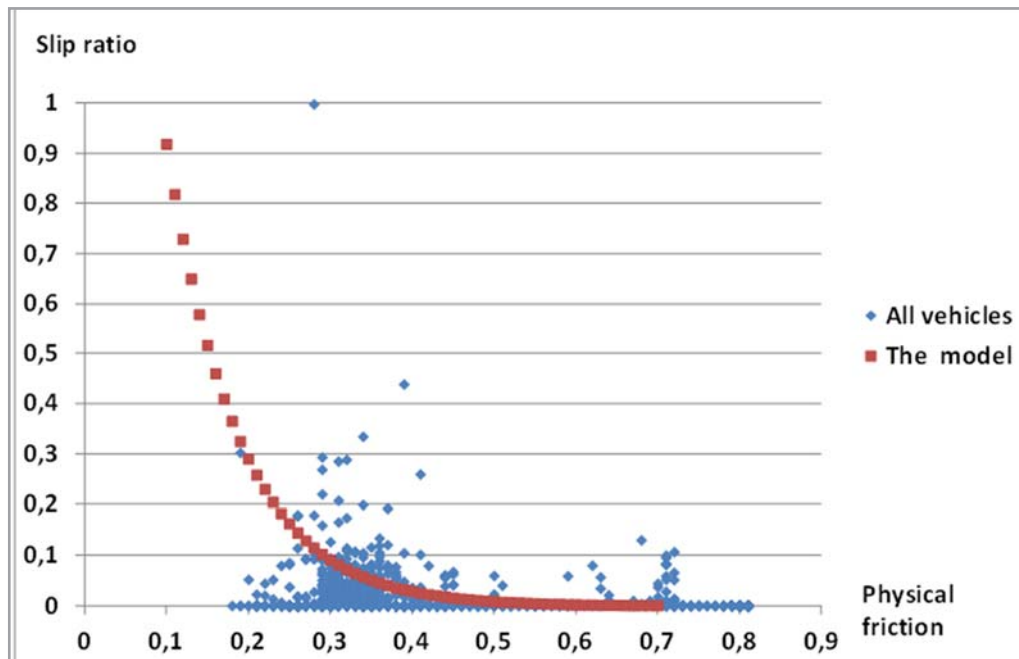


Figure 5. Slip ratio and the physical friction measured by RCM411 (blue dots). The model between slip ratio and physical friction (red dots).

### 3.2 Analyzing the individual test days

The individual test results have been presented in Figures 6–11. In each figure, there are a few encircled observations marked with the letters A, B or C. Appendix 1 shows a picture of the location where this observation has occurred. These pictures aim at answering the question: why is the Grip friction so low or so high in this location?

The major findings and conclusions in Figures 6–11 are:

- Figures 6 and 7 (test 23.11.2015): the first 9 kilometers were driven on bare highway and the last 20 kilometers on a rural snow-packed road. The Grip friction difference between these roads was smaller than expected. Figure 6 shows only 3 lower Grip frictions on the snow-packed rural road than on the bare highway. The situation is slightly better in Figure 7, when the new algorithm for the Grip has been used. Temperature -3°C, light rain.
- Figure 8 (test 4.1.2016): due to some correlation problems with the GPS data, only the latter half of the test was figured. In this test, the same Tank truck 1 behaved more logically than in the test on 23.11.2015. There was minor Grip friction in the same locations, where RCM411, correspondingly, showed lower friction. When RCM411 showed high friction, no slip ratio was observed. Temperature -15 °C, no rain.

- Figure 9 (test 12.1.2016): the test was carried in a snow storm (temperature 5°C). Surprisingly there were more Grip observations at the beginning of the storm with thin snow layers. When there was more snow on the road, there were fewer observations.
- Figure 10 (test 24.1.2016): the test was carried with two Grip vehicles. Bus 1 was driving just in front of the reference car and Bus 2 about 10 minutes before Bus 1. The road condition was very changeable, the temperature was -1°C and there was moderate snow fall. Both buses produced Grip observations at the same level, but not exactly on the same spots. The Grip friction was slightly higher than expected.
- Figure 11 (test 3.2.2016): due to a Grip malfunction, the saved Grip data lasted only 15 minutes. There was presumably also some GPS interference, which could explain the discontinuity of the RCM411 results. The Grip friction level was largely as expected. Temperature -2°C degrees, frost, light snowfall.
- Figure 12 (test 9.2.2016): this test included the most slippery conditions observed with braking friction meters. Unfortunately, the RCM411 was broken. The Grip friction level was higher than expected. The weather was changing; a lot of wet snow was falling, temperature 0°C. According to the Grip vehicle (tank truck) driver, wet snow is not a slippery condition for a big truck.

It seemed that the Grip friction was higher than expected in conditions with loose material like loose snow or slush. Unfortunately, no really icy condition was encountered during the tests.

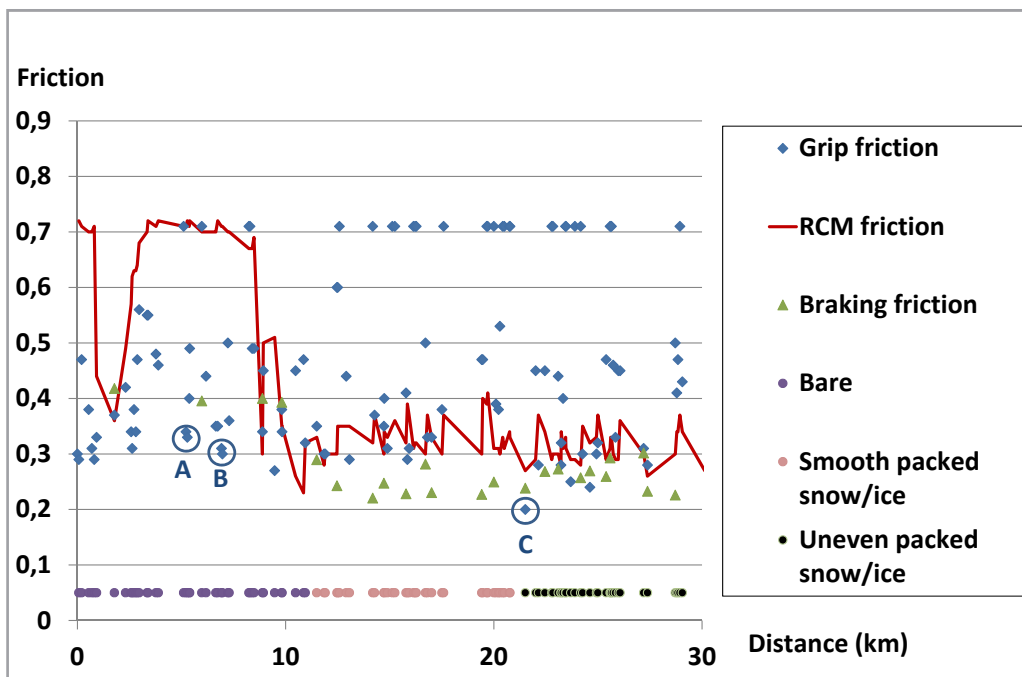


Figure 6. Test with Tank truck 1 on 23.11.2015. Slip ratio converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

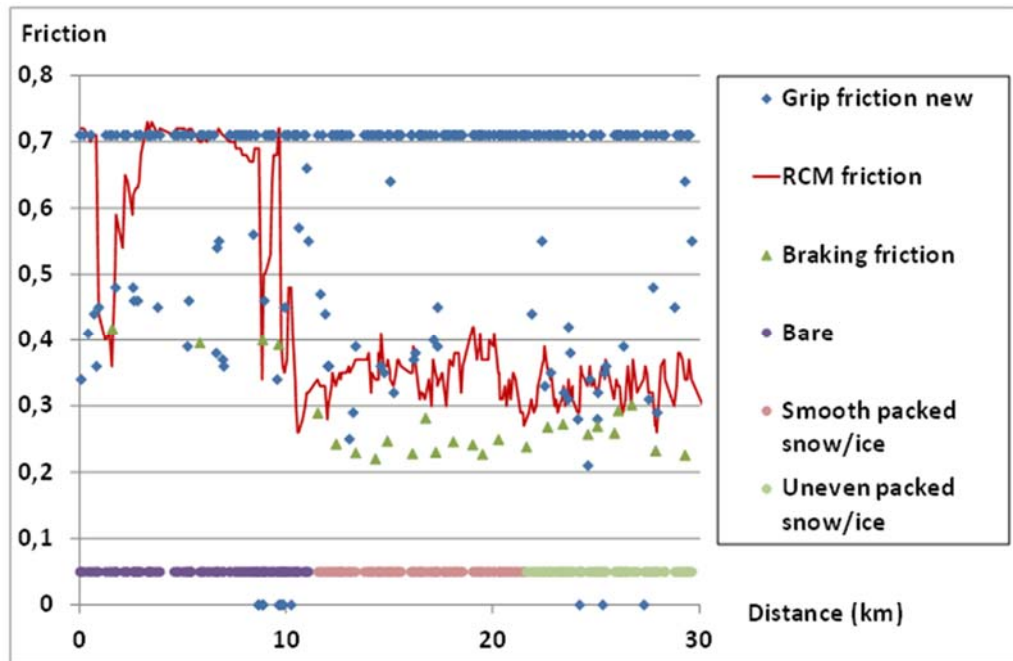


Figure 7. Test with Tank truck 1 on 23.11.2015. Slip ratio with new algorithm converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

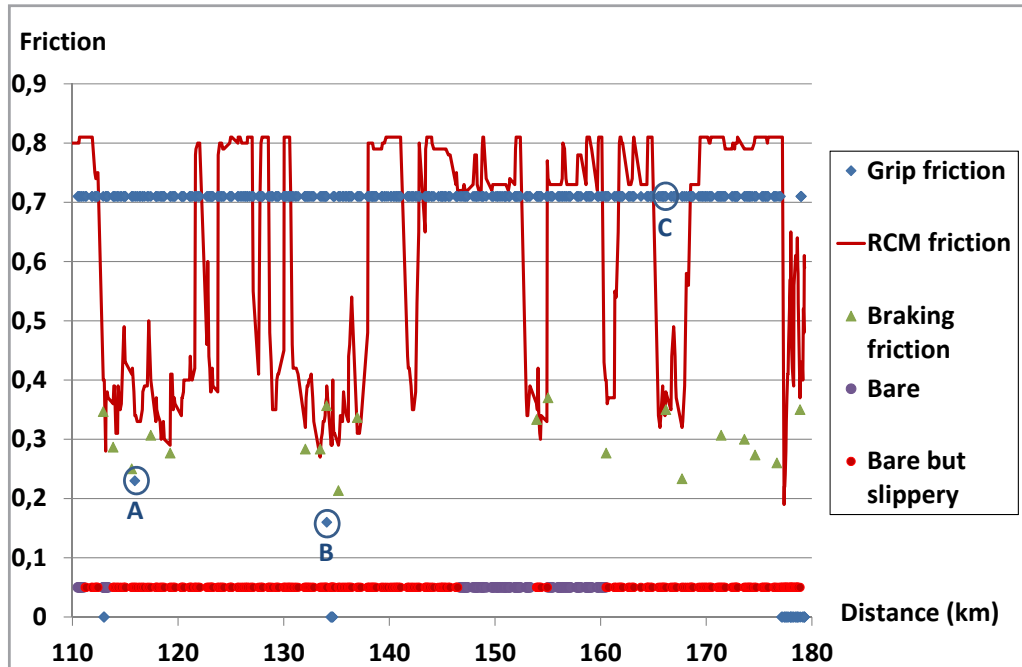


Figure 8. Test with Tank truck 1 on 4.1.2016. Slip ratio converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

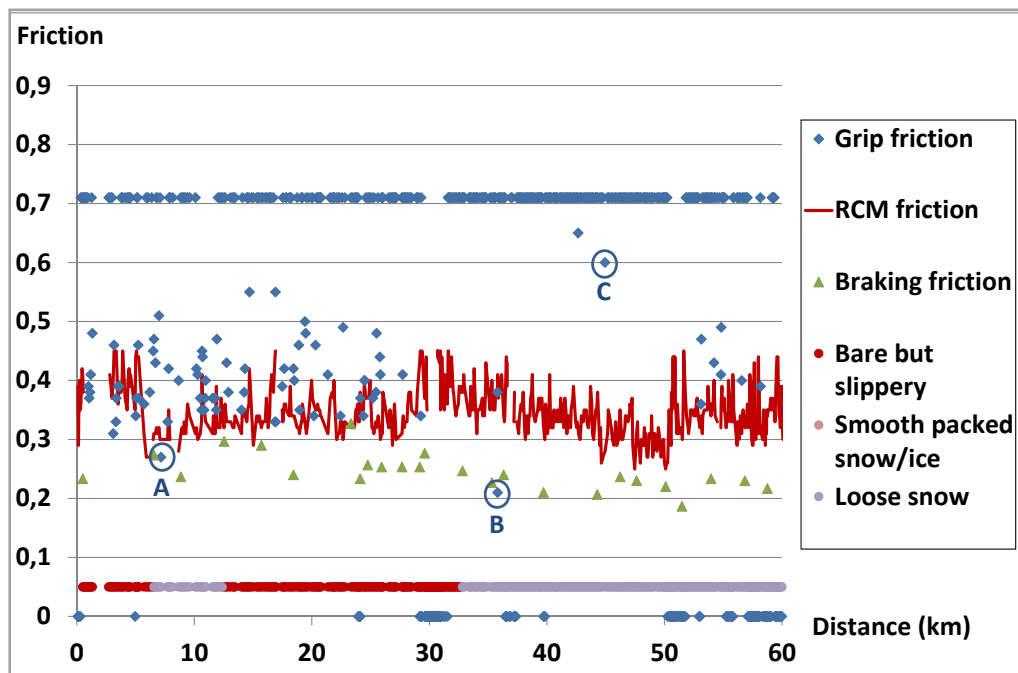


Figure 9. Test with Tank truck 2 on 12.1.2016. Slip ratio converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

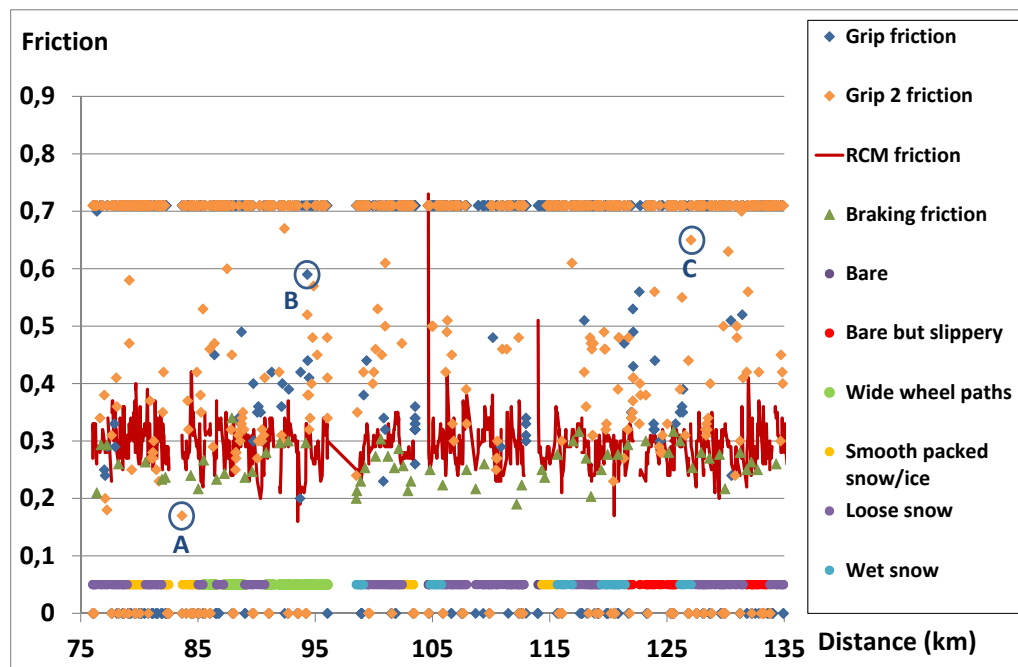


Figure 10. Test with Bus 1 and Bus 2 on 24.1.2016. Bus 1 slip ratio converted to "Grip friction", Bus 2 slip ratio converted to "Grip 2 friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

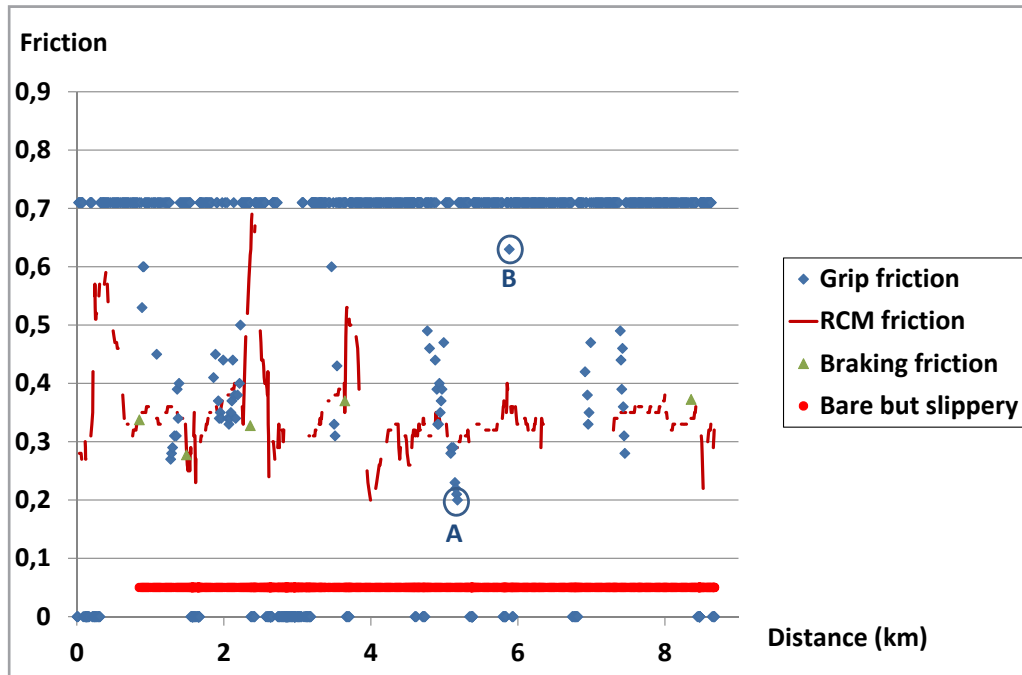


Figure 11. Test with Bus 3 on 3.2.2016. Slip ratio converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

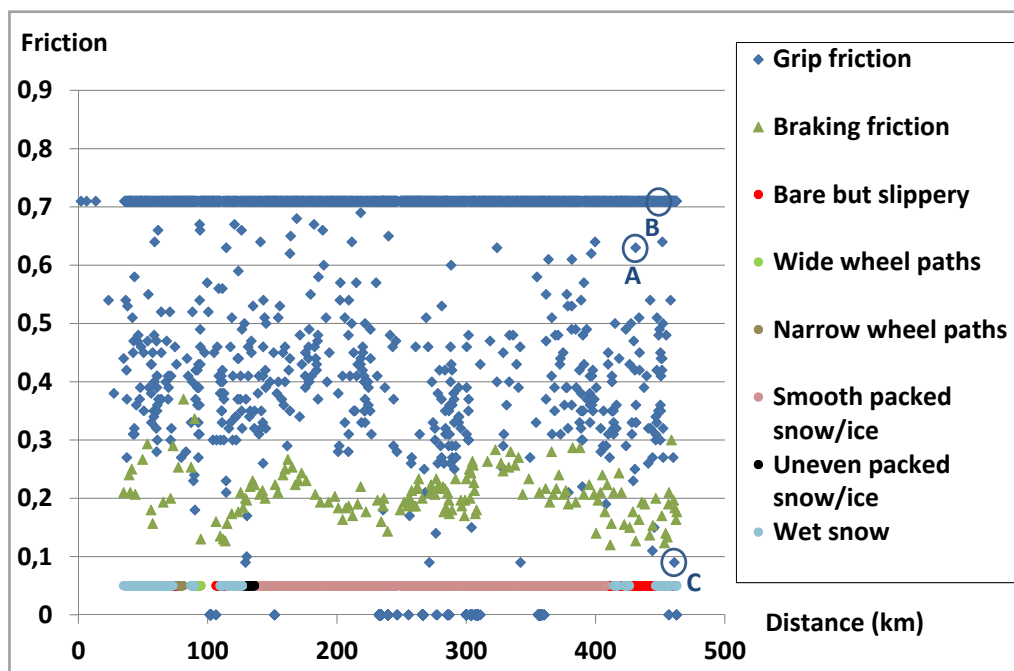


Figure 12. Test with Tank truck 3 on 9.2.2016. Slip ratio converted to "Grip friction", RCM411 friction (physical friction scale) and the average of braking friction meter measurements (FTA's friction scale). Road condition registered on the basis of the reference car driver's observations.

### 3.3 Grip in winter and summer conditions

One of the weaknesses of the Grip test was that only the first test showed clear road condition changes. Also, it was not clear, whether the slip ratios seen on the bare pavement in the first test were an exception, or a rule?

Therefore, we wanted to compare the tests of Tank truck 2, Tank truck 3, Bus 1 and Bus 3 executed in winter to the summertime Grip data. It must be taken into account that we did not make any reference measurements in the summer. Therefore, there was still a possibility for sudden slipperiness caused by oil on the road or heavy local rain.

According to these analyses, slip ratios between 0–0.10 were quite common in the summer. In Figure 13 you can see an example of Bus 2. According to Figure 13, it is very clear that highest slip ratios are more typical in winter. On the other hand, it seems evident that some slip ratio distribution clause improves the slipperiness detection. For example, in the case of Bus 2, "it is probably slippery, if the slip ratio is over 0.14, or if the share of over 0.10-slip ratios exceeds 3 %".

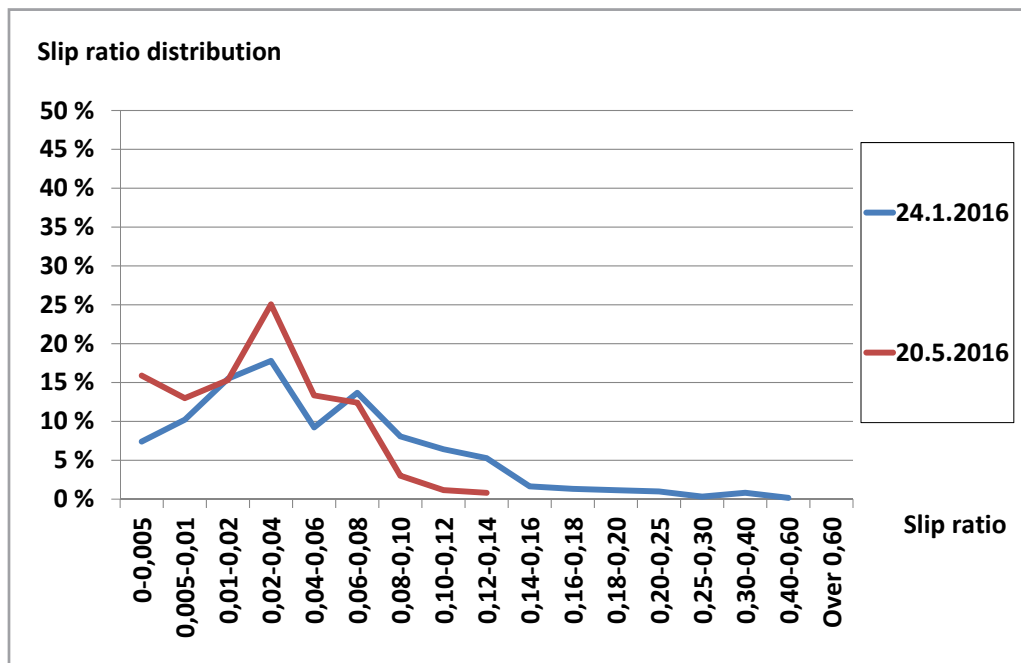


Figure 13. The slip ratio distribution (slip ratios over 0) of Bus 2 in winter (24.1.2016) and in summer (20.5.2016)

## 4 Comparison between the Grip method and the FCD method

This Grip project was the second large project aiming at testing the slipperiness detection abilities of data available in vehicle data buses in Finland. The first project, called "FCD road weather pilot", was completed in 2015. In FCD, the idea was to assess the slipperiness on the basis of electrical stability control (ESC) activation in the vehicles.

In FCD, the accuracy of the method was assessed as follows:

- the reference car drove behind the FCD vehicle (as in this test)
- the journey was divided into 100 meter sections
- these 100-meter sections were categorized as "slippery" or "not slippery" on the basis of reference car data (RCM411) and FCD data. If the RCM411 friction was below 0.40, it was slippery, if above 0.40, it was not slippery from the RCM411 point of view. If the ESC activation happened within the 100-meter section, the 100 meter was considered slippery from the FCD point of view. The 100-meter sections were divided into four categories as shown in Table 3.

Table 3. *The division of 100 meters into slippery and not slippery in the basis of FCD method and RCM411*

		RCM411	
		Slippery	Not slippery
FCD	Slippery	9	1
	Not slippery	838	3400

Table 3 shows that when the correctness of FCD slipperiness findings was 90 % ( $9/(9+1)$ ), FCD could find 1 % of the slippery 100 meters found by RCM411 ( $9/(9+838)$ ).

A similar analysis was made for Grip by using all the data from the tests and also data from two summer days (Bus 2 and Bus 3 data from 20.5.2016).

It was naturally more difficult to determine when Grip had categorized the 100 meter to be slippery or not. Finally, we decided to adjust the slip ratio limit to the level when the correctness of Grip slippery findings was 90 % too (slip ratio 0.122). After that, we still had another problem. We could not decide whether to count only the 100 meters on which there were Grip observations, or all the 100 meters during the tests (in brackets in Table 4). When the Grip observation frequency was 5 seconds, there was only one observation per 111 meters at 80 km/h, so the Grip was not always optimized for this test. Finally, we decided to calculate the results with both amount of 100 meters.

Our result was that if the correctness of Grip slippery findings is 90 % as in FCD, Grip can find 1.7 % - 2.7 % (depending of the 100 meters' amount) of the slippery 100 meters found by RCM411.

According to these calculations, Grip could find 2–3 times more often a slippery 100-meter section than FCD, when the correctness of FCD and Grip findings was the same. The benefit of Grip could be even greater when taking into account that we did not make any calibration for different slip ratio levels of different cars in Grip. This was not the problem in FCD, since the FCD analysis only consisted of data from a single vehicle. A rough estimation is that, after calibration, the result of Grip could be 4–6 times better than FCD.

The Finnish Transport Agency has decided that the accuracy of FCD is not enough for their purposes. At the time of writing, the Finnish Transport Agency's opinion on the Grip accuracy has not been available.

*Table 4. The division of 100 meters into slippery and not slippery on the basis of Grip method and RCM411*

		RCM 411	
		Slippery	Not slippery
Grip	Slippery	35	4
	Not slippery	1288 (2049)	430 (2627)

## 5 The correct fleet size for Grip

One of the most important questions for this kind of method is the fleet size demand. How many Grip vehicles are required to meet the slipperiness detection needs of a certain area?

In the FCD road weather pilot, we found that when using 82 garbage trucks with FCD operating daytime in the Helsinki area, we could find 2–3 FCD vehicles during a half hour period on all major roads (250 km in total) in Helsinki. If we take into account that we need 24-hour coverage and that part of the vehicles are always out of operation, we need to have about 300–400 installed vehicles for the same coverage (2–3 vehicles in any half hour period on all major roads in Helsinki).

We also made a rough estimation that we will need 4–6 vehicles for any half hour in order to roughly estimate the starting time of winter maintenance operations in the broader Helsinki area. This means 600–800 installed vehicles. If only one road section is getting slippery, winter maintenance is in a hurry, we need about 6–8 Grip vehicle observations for a 10-minute period on a single main road. This means 2,800–3,600 installed vehicles in the Helsinki area.

These are still only rough estimations, but can give some idea of the fleet size needed.



## 6 Conclusions

According to these tests, it was evident that the slip ratio produced by Grip method has a clear correlation to the reference friction measurements. The highest slip ratios only occurred in situations when the reference method, the optical friction measured by RCM411, produced low friction values.

The potential problem with Grip is that these high slip ratios occur only rarely. When a tank truck with Grip drove 60 kilometers in the middle of a snow storm, it produced only 9 slip ratios that were higher than on a randomly selected sunny summer day. However, Grip may have the potential to improve from that. When analyzing both the slip ratio limits and slip ratio distribution, Grip could produce slipperiness warnings more often with reasonable reliability.

The other factor affecting the rarity of high slip ratios in the test was probably connected to the difference in winter behavior between large trucks and passenger cars. Presumably, loose materials like loose snow and slush are more slippery to passenger cars than to large trucks. We therefore presume, that if the above mentioned tank truck had driven 60 kilometers on plain ice, there would have been far more slip ratios above summer time levels.

The video frame analysis from the locations of slip ratio observations showed that slip ratios typically emerge in low-grade uphill slopes or on level road sections. The benefit of the Grip is that the observations could be gathered for almost every part of the road except in downhill slopes. When there is a larger Grip fleet operating, downhill slopes could be also measured by another Grip vehicle, driving in the opposite direction. However, this happens on another lane.

In this study, the tank trucks produced slip ratios only when the so-called front axle speed was over 40 km/h. In buses, the limit was 20 km/h, since the buses operating in Helsinki area only rarely exceed the 40 km/h limit. According to this study, the lower speed limit did not have any major negative effects on the bus slip ratio results.

According to this study, the Grip is not accurate enough for assessing the approval of the strict winter maintenance quality requirements of Finnish Transport Agency. Since failure to reach these limits can result in sanctions for the entrepreneur, these measurements must be very accurate.

However, the Finnish Transport Agency needs tools for measuring the overall winter maintenance service in Finland. The Grip may be a potential method for that, since Grip is able to produce data from extensive areas at a reasonable cost. For this purpose, absolute accuracy is not necessary.

Grip could also be a potential tool for Helsinki city when assessing the overall level of winter maintenance and the rough starting point of winter maintenance actions. Like in the case of the Finnish Transport Agency, Grip cannot be used as an argument for sanctions.

Grip is, above all, a system based on a large fleet, and therefore this kind of study analyzing only a few single vehicles cannot produce an overall picture. Since the system has potential, we recommend that one or more pilots of at least 100–200 vehicles in a restricted area will be initiated. We also recommend, that the winter maintenance and winter traffic operators will be the test persons of utilizing the data via easily understandable user interface.

Since there were significant operating failures during the tests, it is recommended that the price of the Grip service should not only be connected to the fleet size, but also to the data size.



ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-326-2  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto